

## **General Disclaimer**

### **One or more of the Following Statements may affect this Document**

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

E83-10111

-CR-169695-



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

Made available under NASA sponsorship  
in the interest of early and wide dis-  
semination of Earth Resources Survey  
Program information and without liability  
for any use made therefrom.

(E83-10111) VERIFICATION OF LANDSAT IMAGERY  
FOR MORPHOMETRIC AND TOPOLOGICAL STUDIES OF  
DRAINAGE BASINS IN A SECTION OF THE WESTERN  
PLATEAU OF SAO PAULO STATE: TIETE-AGUAPEI  
WATERSHED (Instituto de Pesquisas Espaciais, G3/43

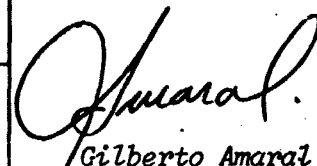
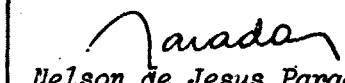

N83-15754

Unclass  
00111

RECEIVED BY  
NASA STI FACILITY  
DATE: 9/22/82  
DCAF NO. 002949  
PROCESSED BY  
☒ NASA STI FACILITY  
☐ ESA - SDS ☐ AIAA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

|  |                            |   |   |
|--|----------------------------|---|---|
| 1. Publicação nº<br><b>INPE-2444-TDL/093</b>   | 2. Versão                  | 3. Data<br><b>Junho, 1982</b>   | 5. Distribuição<br><input type="checkbox"/> Interna, <input checked="" type="checkbox"/> Externa<br><br><input type="checkbox"/> Restrita |
| 4. Origem<br><b>DRH/DSR</b>  | Programa<br><b>FRH/DSR</b> |   |   |
| 6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)<br><b>MORFOMETRIA</b><br><b>TOPOLOGIA</b><br><b>CARTAS TOPOGRÁFICAS</b>  |                            |   |   |
| 7. C.D.U.: 528.711.7:556.51(816.1)   |                            |   |   |
| 8. Título<br><b>INPE-2444-TDL/093</b><br><b>AVALIAÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT PARA ESTUDOS MORFOMÉTRICOS E TOPOLÓGICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, EM UMA ÁREA DO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA: INTERFLÚVIO TIETÊ - AGUAPEÍ (FEIO)</b>   |                            | 10. Páginas: 259  |   |
|  |                            | 11. Última página: A.2  |   |
|  |                            | 12. Revisada por<br><br>Gilberto Amaral                       |   |
| 9. Autoria José Carlos Godoy Camargo   |                            | 13. Autorizada por<br><br>Nelson de Jesus Parada<br>Diretor |   |
| Assinatura responsável    |                            |   |   |
| 14. Resumo/Notas<br><p>Neste trabalho procurou-se verificar a potencialidade de imagens MSS/LANDSAT para estudos, morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas. Selecionou-se o interflúvio entre o rio Tietê e Aguapeí (Planalto Ocidental Paulista) como área teste, devido à uniformidade da paisagem quanto à topografia e geologia. O trabalho foi realizado em 10 bacias de drenagem para as quais se coletaram os seguintes dados: a) Variáveis Morfométricas - Índice de Circularidade, Densidade de Rios, Densidade de Drenagem, Textura da Topografia, Índice entre o comprimento e a área da Bacia, Perímetro da Bacia, Comprimento do Rio Principal, Comprimento dos Canais de 1ª ordem e de 2ª ordem. b) Variáveis Topológicas - Ordem, Magnitude, Relação de Bifurcação, Relação Ponderada de Bifurcação, Número de Segmentos, Número de Ligamentos, Comprimento da Trajetória e Diâmetro Topológico. Os dados foram coletados em cartas na escala de 1:50.000 e 1:250.000 e em imagem LANDSAT na escala de 1:250.000. Os resultados foram tabelados e permitiram as seguintes conclusões: na mesma escala (1:250.000) as imagens resultam em valores superiores; em escalas maiores (1:50.000) as imagens dão resultados equivalentes ou superiores. As imagens LANDSAT podem suprir a ausência de cartas topográficas para estudos de drenagem.</p> |                            |   |   |
| 15. Observações<br><p>Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto aprovada em 17 de dezembro de 1981.</p>  |                            |   |   |

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisitos exigidos  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Sensoriamento Remoto

Dr. Icaro Vitorello

*Icaro Vitorello*

Presidente

Dr. Antonio Christofolatti

*Antonio Christofolatti*

Orientador

Dr. Gilberto Amaral

*Gilberto Amaral*

Co-Orientador

Dr. Adilson Avansi de Abreu

*Adilson Avansi de Abreu*

Membro da Banca  
-convocado-

Dr. Renato Herz

*Renato Herz*

Membro da Banca

Original photograph may be purchased  
from EROS Data Center  
Sioux Falls, SD 57196

Candidato: José Carlos Godoy Camargo

*José Carlos Godoy Camargo*

São José dos Campos, 17 de dezembro de 1981



Aos meus pais

Olavo e Rosa Alice

e à minha esposa

Mara Leila,

dedico este trabalho.

### AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. Antônio Christofolletti, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP- Rio Claro, e ao Dr. Gilberto Amara! do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - SP, a orientação, o incentivo, a compreensão e a amizade.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais, nas pessoas do seu Diretor, Dr. Nelson de Jesus Parada, e de seu Coordenador Adjunto da Coordenação de Recursos Terrestres, Sr. Rene Antonio Novaes, as condições que possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos colegas do Departamento de Geografia da UNESP - Rio Claro o apoio e incentivo.

Aos colegas do Programa de Análise Ambiental do Departamento de Sensoriamento Remoto (DSR) do INPE, que muito me incentivaram e apoiaram.

Ao Prof. Dr. Rubens da Cunha a valiosa colaboração.

Ao desenhista e colega Gilberto D. Henrique a execução das figuras e gráficos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the potential of using MSS/LANDSAT imagery for morphometric and topological studies on drainage basin. Tiete and Aguapei watershed (Western Plateau) was selected as test site because of its homogeneous landscape. The following data were collected for 10 drainage basins: A) Morphometric variables: Circularity Index, River Density, Drainage Density, Topographic Texture, Areal and Length Index, Basin Perimeter, Main River Length 1<sup>st</sup> order and 2<sup>d</sup> order channel length, B) Topological Variables: order, Magnitude, Bifurcation Ratio, Weighted Bifurcation Ratio, Number of Segments, Number of Linking, Trajectory Length, and Topological Diameter. Data were collected on topographic maps at the scale of 1:250.000 and 1:50.000 and on LANDSAT imagery at the scale of 1:250.000. The results were summarized on tables for further analysis. They showed that LANDSAT imagery can supply the lack of topographic charts for drainage studies.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

## SUMÁRIO

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS .....  | ix          |
| LISTA DE TABELAS .....  | xv          |
| LISTA DE SÍMBOLOS.....  | xix         |
| <u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....                              | 1           |
| 1.1 - Considerações gerais .....                                  | 1           |
| 1.2 - Proposições e objetivos .....                               | 4           |
| 1.3 - Revisão da literatura .....                                 | 10          |
| 1.4 - Escolha da imagem e da área de estudo .....                 | 15          |
| <u>CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA TESTE</u> .....           | 21          |
| 2.1 - Geologia .....  | 21          |
| 2.2 - Relevo .....  | 24          |
| 2.3 - Clima .....   | 26          |
| 2.4 - Vegetação, solos e hidrografia.....                         | 32          |
| <u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....                     | 35          |
| 3.1 - Materiais .....   | 35          |
| 3.1.1 - Imagens do satélite LANDSAT .....                         | 35          |
| 3.1.2 - Cartas topográficas .....                                 | 35          |
| 3.1.3 - Material cartográfico usado para suporte da pesquisa .... | 36          |
| 3.1.4 - Material de escritório e desenho .....                    | 36          |
| 3.1.5 - Bibliografia .....  | 36          |
| 3.2 - Métodos .....   | 37          |
| 3.2.1 - Levantamento da rede hidrográfica nas imagens LANDSAT.... | 39          |
| 3.2.2 - Levantamento da rede hidrográfica nas cartas topográficas | 41          |
| 3.2.3 - Delimitação das bacias hidrográficas .....                | 41          |
| 3.2.4 - Variáveis e parâmetros morfométricos utilizados .....     | 46          |
| <u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE</u> .....        | 65          |
| 4.1 - Variáveis morfométricas .....                               | 65          |
| 4.1.1 - Índice de circularidade (Ic).....                         | 65          |
| 4.1.2 - Densidade de rios (Dr) .....                              | 75          |
| 4.1.3 - Densidade de drenagem (Dd).....                           | 84          |

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 4.1.4 - Textura da topografia (Tt).....  | 93          |
| 4.1.5 - Índice entre o comprimento e a área da bacia (Ico) .....                           | 102         |
| 4.1.6 - Área da bacia (A) .....  | 108         |
| 4.1.7 - Perímetro (P) .....  | 114         |
| 4.1.8 - Comprimento do rio principal (L) .....   | 119         |
| 4.1.9 - Comprimento dos canais de primeira e de segunda ordem<br>(L <sub>1,2</sub> ) ..... | 124         |
| 4.2 - Variáveis topológicas .....  | 164         |
| 4.2.1 - Ordem ( $\Omega$ ) .....   | 164         |
| 4.2.2 - Magnitude (M) .....  | 167         |
| 4.2.3 - Relação de bifurcação (kb) e relação ponderada de bifur<br>cação (Rpb) .....       | 173         |
| 4.2.4 - Segmentos .....  | 184         |
| 4.2.5 - Ligamentos .....   | 191         |
| 4.2.6 - Comprimento da trajetória (T) .....  | 196         |
| 4.2.7 - Diâmetro topológico (Dt) .....   | 197         |
| 4.3 - Agrupamento das bacias hidrográficas e das variáveis .....                           | 204         |
| <u>CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</u> .....   | 227         |
| <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....  | 231         |
| APÊNDICE A - BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR   |             |

## LISTA DE FIGURAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1.1 - Localização da imagem LANDSAT no Estado de São Paulo e perfil esquemático representativo das diferentes regiões naturais .....   | 16          |
| 1.2 - Localização da área teste em relação à imagem LANDSAT ....   | 19          |
| 2.1 - Esboço geológico da área .....   | 23          |
| 2.2 - Esboço hipsométrico da área .....  | 25          |
| 2.3 - Mapa das isoietas anuais .....   | 27          |
| 2.4 - Temperatura média mensal da cidade de Araçatuba .....  | 29          |
| 2.5 - Umidade relativa do ar da cidade de Araçatuba .....  | 30          |
| 2.6 - Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo.....  | 31          |
| 2.7 - Cobertura vegetal da área .....  | 33          |
| 3.1 - Hierarquização das etapas de investigação segundo Boesch, adaptado de Abreu (1976) .....   | 37          |
| 3.2 - Drenagem levantada a partir dos canais 5 e 7 das imagens LANDSAT .....   | 40          |
| 3.3 - Drenagem levantada a partir das cartas topográficas na escala de 1:250.000 .....   | 42          |
| 3.4 - Bacias hidrográficas selecionadas na imagem LANDSAT (1:250.000) .....  | 43          |
| 3.5 - Bacias hidrográficas selecionadas nas cartas topográficas (1:250.000) .....  | 44          |
| 3.6 - Exemplo de uma bacia levantada a partir das cartas topográficas na escala de 1:50.000 .....  | 45          |
| 3.7 - Exemplos de densidade da drenagem e textura da topografia.   | 51          |
| 3.8 - Bacias hipotéticas (A) e (B) com a mesma densidade de drenagem mas diferentes frequências de rios; bacias (C) e (D) com a mesma frequência de rios mas diferentes densidades de drenagem ..... | 52          |
| 3.9 - Ordenação de canais e quantidade de rios em uma bacia hidrográfica .....   | 60          |
| 3.10 - Bacias hipotéticas demonstrativas de relações de bifurcação extremas e moderadas .....  | 62          |
| 4.1 - Relação entre o índice de circularidade (Ic) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000)....  | 73          |
| 4.2 - Relação entre o índice de circularidade (Ic) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) ....  | 74          |

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 4.3 - Relação entre densidade de rios ( $D_r$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).....                                  | 82          |
| 4.4 - Relação entre densidade de rios ( $D_r$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....                                  | 83          |
| 4.5 - Relação entre densidade de drenagem ( $D_d$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).....                              | 91          |
| 4.6 - Relação entre densidade de drenagem ( $D_d$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....                              | 92          |
| 4.7 - Relação entre textura topográfica ( $T_t$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....                               | 99          |
| 4.8 - Relação entre textura topográfica ( $T_t$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....                                | 100         |
| 4.9 - Relação entre o índice entre o comprimento e a área da bacia ( $I_{Co}$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) ..... | 106         |
| 4.10 - Relação entre o índice entre o comprimento e a área da bacia ( $I_{Co}$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) ..... | 107         |
| 4.11 - Relação entre a área da bacia ( $A$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....                                    | 112         |
| 4.12 - Relação entre a área da bacia ( $A$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....                                     | 113         |
| 4.13 - Relação entre o perímetro da bacia ( $P$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....                               | 117         |
| 4.14 - Relação entre o perímetro da bacia ( $P$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).....                                 | 118         |
| 4.15 - Relação entre o comprimento do rio principal ( $L$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....                     | 122         |
| 4.16 - Relação entre o comprimento do rio principal ( $L$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....                      | 123         |
| 4.17 - Distribuição de frequência dos canais de primeira ordem levantados através da imagem LANDSAT (1:250.000) .....                                  | 134         |
| 4.18 - Distribuição de frequência dos canais de primeira ordem levantados através da carta topográfica (1:250.000) ....                                | 135         |
| 4.19 - Distribuição de frequência dos canais de 1ª ordem levantados através da carta topográfica (1:50.000) .....                                      | 136         |
| 4.20 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de primeira ordem, levantados a partir da imagem LANDSAT 1:250.000 .....                     | 138         |
| 4.21 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de primeira ordem, levantados a partir das cartas topográficas 1:250.000 .....               | 139         |

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 4.22 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de 1ª ordem, levantados através da carta topográfica (1:50.000) ..                     | 140         |
| 4.23 - Relação entre o comprimento médio dos canais e suas respectivas ordens a partir da imagem LANDSAT (1:250.000) .....                       | 144         |
| 4.24 - Relação entre o comprimento médio dos canais e suas respectivas ordens a partir da carta topográfica (1:250.000) ...                      | 145         |
| 4.25 - Relação entre o comprimento médio dos canais e suas respectivas ordens a partir da carta topográfica (1:50.000) ....                      | 146         |
| 4.26 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 1ª ordem ( $L_1$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) ..... | 149         |
| 4.27 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 1ª ordem ( $L_1$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....  | 150         |
| 4.28 - Distribuição de frequência dos canais de 2ª ordem levantados através da imagem LANDSAT (1:250.000) .....                                  | 154         |
| 4.29 - Distribuição de frequência dos canais de 2ª ordem levantados através da carta topográfica (1:250.000) .....                               | 155         |
| 4.30 - Distribuição de frequência dos canais de 2ª ordem levantados através da carta topográfica (1:50.000) .....                                | 156         |
| 4.31 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de 2ª ordem, levantados através da imagem LANDSAT (1:250.000) ....                     | 157         |
| 4.32 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de 2ª ordem, levantados através da carta topográfica (1:250.000) ..                    | 158         |
| 4.33 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de 2ª ordem, levantados através da carta topográfica (1:50.000)...                     | 159         |
| 4.34 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 2ª ordem ( $L_2$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) ..... | 162         |
| 4.35 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 2ª ordem ( $L_2$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....  | 163         |
| 4.36 - Relação entre a magnitude (M) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....                                      | 171         |
| 4.37 - Relação entre a magnitude (M) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....                                       | 172         |
| 4.38 - Relação entre o número de canais e suas respectivas ordens a partir da imagem LANDSAT (1:250.000) .....                                   | 179         |
| 4.39 - Relação entre o número de canais e suas respectivas ordens a partir da carta topográfica (1:250.000) .....                                | 180         |
| 4.40 - Relação entre o número de canais e suas respectivas ordens a partir da carta topográfica (1:50.000) .....                                 | 181         |



|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 4.41 - Relação entre a relação ponderada de bifurcação (Rpb) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000)...  | 183         |
| 4.42 - Relação entre a relação ponderada de bifurcação (Rpb) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) ...  | 184         |
| 4.43 - Relação entre os segmentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....  | 190         |
| 4.44 - Relação entre os segmentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....   | 190         |
| 4.45 - Relação entre os ligamentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....   | 195         |
| 4.46 - Relação entre os ligamentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....  | 196         |
| 4.47 - Relação entre o diâmetro topológico (Dt) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000) .....  | 203         |
| 4.48 - Relação entre o diâmetro topológico (Dt) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000) .....   | 203         |
| 4.49 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as bacias hidrográficas na imagem LANDSAT (1:250.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M) .....             | 215         |
| 4.50 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as bacias hidrográficas na carta topográfica (1:250.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M) .....          | 216         |
| 4.51 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as bacias hidrográficas na carta topográfica (1:50.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M) .....           | 217         |
| 4.52 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as variáveis levantadas a partir da imagem LANDSAT (1:250.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M).....     | 221         |
| 4.53 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as variáveis levantadas a partir da carta topográfica (1:250.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M) ..... | 222         |
| 4.54 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as variáveis levantadas a partir da carta topográfica (1:50.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M) .....  | 223         |

## LISTA DE TABELAS

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 3.1 - Textura topográfica .....   | 53          |
| 4.1 - Dados morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas calculados através da imagem LANDSAT (1:250.000) .....  | 66          |
| 4.2 - Dados morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas calculados através da carta topográfica (1:250.000) .....   | 67          |
| 4.3 - Dados morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas calculados através da carta topográfica na escala de 1:50.000 .....   | 68          |
| 4.4 - Índice de circularidade (Ic) através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....   | 69          |
| 4.5 - Índice de circularidade (Ic) .....  | 72          |
| 4.6 - Densidade de rios (Dr) calculada através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....   | 77          |
| 4.7 - Densidade dos rios (Dr) .....   | 80          |
| 4.8 - Densidade de drenagem (Dd) calculada através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                                       | 85          |
| 4.9 - Densidade de drenagem (Dd) .....  | 89          |
| 4.10 - Textura da topografia (Tt) calculada através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                                      | 95          |
| 4.11 - Relação entre os índices Dr, Dd e Tt na imagem LANDSAT ....  | 95          |
| 4.12 - Textura topográfica (Tt) .....   | 97          |
| 4.13 - Índice entre o comprimento e a área da bacia hidrográfica (ICo) calculado através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) ..... | 103         |
| 4.14 - Índice entre o comprimento e a área da bacia (ICo) .....   | 105         |
| 4.15 - Área das bacias hidrográficas (A) calculadas através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                              | 109         |
| 4.16 - Área das bacias (A) .....  | 111         |
| 4.17 - Perímetro das bacias hidrográficas (P) calculado através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                          | 115         |
| 4.18 - Perímetro (P) .....  | 116         |
| 4.19 - Comprimento do rio principal (L) medido através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                                   | 120         |

|  |     |
|--|-----|
| 4.20 - Comprimento total dos canais de primeira ordem ( $L_1$ ) medido através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....  | 125 |
| 4.21 - Comprimento total dos canais de 2ª ordem ( $L_2$ ) medido através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....  | 126 |
| 4.22 - Comprimento de canais de 1ª ordem ( $L_1$ ) .....   | 128 |
| 4.23 - Comprimento de canais de 2ª ordem ( $L_2$ ) .....   | 130 |
| 4.24 - Comprimento médio dos canais de primeira ordem ( $\bar{L}_1$ ) calculado através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....   | 131 |
| 4.25 - Comprimento médio dos canais de primeira ordem ( $\bar{L}_1$ ) .....  | 133 |
| 4.26 - Valores de qui-quadrado dos canais de 1ª ordem .....  | 141 |
| 4.27 - Amplitude de variação, mediana e moda dos comprimentos dos canais de primeira ordem, calculados através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                  | 141 |
| 4.28 - Comprimento médio dos canais de segunda ordem ( $\bar{L}_2$ ) calculado através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....  | 151 |
| 4.29 - Comprimento médio dos canais de 2ª ordem ( $\bar{L}_2$ ) .....  | 153 |
| 4.30 - Valores de qui-quadrado dos comprimentos dos canais de segunda ordem .....  | 160 |
| 4.31 - Amplitude de variação, mediana e moda dos comprimentos dos canais de segunda ordem, levantados a partir das imagens LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas nas escalas de (1:250.000 e 1:50.000) ..... | 160 |
| 4.32 - Ordem dos canais ( $\Omega$ ) calculada através da imagem LANDSAT (1:250.000) e nas cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....  | 166 |
| 4.33 - Magnitude das bacias (M) calculada através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....   | 168 |
| 4.34 - Magnitude das bacias (M) .....  | 170 |
| 4.35 - Relação de bifurcação ( $R_b$ ) e relação ponderada de bifurcação ( $R_{pb}$ ) calculadas através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 .....  | 175 |
| 4.36 - Relação de bifurcação ( $R_b$ ) e relação ponderada de bifurcação ( $R_{pb}$ ) calculadas através da carta topográfica na escala de (1:250.000) .....   | 176 |
| 4.37 - Relação de bifurcação ( $R_b$ ) e relação ponderada de bifurcação ( $R_{pb}$ ) calculadas através da carta topográfica na escala de 1:50.000 .....  | 176 |

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 4.38 - Relação ponderada de bifurcação ( $R_b$ ) calculada através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) ..... | 177         |
| 4.39 - Comprimento e número de canais em relação à ordem dos três documentos analisados .....   | 182         |
| 4.40 - Número de segmentos calculados através da imagem LANDSAT (1:250.000) .....   | 185         |
| 4.41 - Número de segmentos calculados através da carta topográfica (1:250.000) .....  | 185         |
| 4.42 - Número de segmentos calculados através da carta topográfica (1:50.000) .....   | 186         |
| 4.43 - Número de segmentos calculados através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                      | 187         |
| 4.44 - Número de segmentos .....  | 189         |
| 4.45 - Número de ligamentos calculados através da imagem LANDSAT (1:250.000) .....  | 192         |
| 4.46 - Número de ligamentos calculados através da carta topográfica (1:250.000) .....   | 193         |
| 4.47 - Número de ligamentos calculados através da carta topográfica (1:50.000) .....  | 193         |
| 4.48 - Número de ligamentos calculados através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....                     | 194         |
| 4.49 - Comprimento da trajetória (T) calculado através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....             | 198         |
| 4.50 - Diâmetro topológico ( $D_t$ ) calculado através da imagem LANDSAT (1:250.000) e das cartas topográficas (1:250.000 e 1:50.000) .....             | 200         |
| 4.51 - Diâmetro topológico ( $D_t$ ) .....  | 202         |
| 4.52 - Dados padronizados da imagem LANDSAT (1:250.000) .....   | 205         |
| 4.53 - Dados padronizados da carta topográfica (1:250.000) .....  | 206         |
| 4.54 - Dados padronizados da carta topográfica (1:50.000) .....   | 207         |
| 4.55 - Matriz dos coeficientes de correlação entre as bacias hidrográficas da imagem LANDSAT (1:250.000) .....  | 209         |
| 4.56 - Matriz dos coeficientes de correlação entre as bacias hidrográficas da carta topográfica (1:250.000) .....                                       | 210         |
| 4.57 - Matriz dos coeficientes de correlação entre as bacias hidrográficas da carta topográfica (1:50.000) .....  | 211         |
| 4.58 - Matriz dos coeficientes de correlação entre as variáveis da imagem LANDSAT (1:250.000) .....   | 212         |

Pág.

|  |     |
|--|-----|
| 4.59 - Matriz dos coeficientes de correlação entre as variáveis da carta topográfica (1:250.000) ..... | 213 |
| 4.60 - Matriz dos coeficientes de correlação entre as variáveis da carta topográfica (1:50.000) .....  | 214 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

- Ic - Índice de circularidade.
- Dr - Densidade de rios.
- Dd - Densidade da drenagem.
- Tt - Textura da topografia.
- IC<sub>0</sub> - Índice entre o comprimento e a área da bacia.
- A - Área da bacia.
- P - Perímetro da bacia.
- L - Comprimento dos rios e canais.
- L<sub>1</sub> - Comprimento médio dos canais de primeira ordem.
- L<sub>2</sub> - Comprimento médio dos canais de segunda ordem.
- Ω - Ordem das bacias.
- M - Magnitude.
- Rb - Relação de bifurcação.
- Rpb - Relação ponderada de bifurcação.
- T - Comprimento da trajetória.
- Dt - Diâmetro topológico.
- Lig. - Ligamentos.
- Seg. - Segmentos.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A partir de 1950, com a chamada revolução teorética e quantitativa que ocorreu na Geografia, novas idéias e novos métodos de pesquisas foram aceitos; assim houve proliferação muito grande da literatura geográfica nos seus mais variados aspectos. Dentro da Geografia, ou mais precisamente dentro da Geografia Física, um dos ramos de pesquisa que mais se desenvolveu ultimamente foi a Geomorfologia.

A preocupação do ser humano em conhecer e compreender as formas de superfície terrestre é muito antiga. Sábios e pesquisadores deram as mais diferentes interpretações e explicações para as formas de relevo, de acordo com suas concepções e crenças da época em que viveram.

Mas coube a William Morris Davis, pesquisador americano do século passado, o mérito de ser reconhecido como o fundador da Geomorfologia como disciplina independente e como conjunto de conhecimentos coerentes e originais.

Considerada como ciência autônoma, a Geomorfologia sofreu rápidos progressos nos últimos anos, e como não poderia deixar de ser, ocorreram dentro desse ramo organizado de conhecimento vários campos de especialização.

Dentre esses vários campos de especialização destaca-se a Geomorfologia Fluvial, pelo interesse que desperta e pela volumosa literatura disponível, sendo considerada um ramo científico bastante avançado e individualizado, que se preocupa com a análise de bacias hidrográficas, pois os processos fluviais são de grande significação para a compreensão da paisagem.

O método tradicional de classificação das redes hidrográficas era através do arranjo espacial dos cursos fluviais, ou de características qualitativas que poderiam ser facilmente identificadas e associadas com algum tipo de estruturas geológicas.

Atualmente, geomorfologias e hidrólogos têm dedicado grande parte de suas pesquisas ao desenvolvimento de índices para classificar e descrever as propriedades morfométricas e topológicas das bacias de drenagem. O propósito principal dessas investigações é poder analisar quantitativamente as características geomorfológicas das bacias de drenagem.

Horton (1945), engenheiro hidráulico norte americano, que se preocupava em compreender as interações dos eventos hidrológicos e a geometria das bacias hidrográficas, foi o primeiro a fazer medidas completamente diferentes para o estudo das redes de drenagem. Horton interessou-se por medidas quantitativas de bacias hidrográficas; seu mérito principal foi o de tentar classificar individualmente os canais, ordenando-os segundo critério pre-fixados e propiciando a construção de modelos morfométricos relacionados com o processos de escoamento superficial.

O trabalho de Horton marcou uma mudança radical nas pesquisas sobre medidas de padrões de drenagem, em virtude de sua ênfase nos métodos quantitativos e por ter sido o primeiro a introduzir considerações topológicas nas redes hidrográficas.

Uma das preocupações dos geomorfólogos era determinar uma unidade de área para coletar dados morfométricos para a descrição das formas de relevo. A concepção da natureza dessa unidade tem sido alvo de discussões metodológicas, mas, em função de suas características unitárias básicas - tais como a topografia, a hidrologia e a hidráulica, a bacia hidrográfica tem sido aceita como *unidade fundamental*.



As bacias hidrográficas têm grande interesse para os geomorfólogos por várias razões. Uma delas é que a rede de drenagem opera como um sistema dinâmico na evolução temporal das paisagens e define a bacia de drenagem, a qual mostra um "esqueleto" onde é possível integrar os elementos espaciais da superfície terrestre. Ela também define uma estrutura onde se podem retirar amostragens espaciais em áreas funcionais, as quais são consideradas unidades básicas; podem ser tratadas estatisticamente como amostras reaplicáveis e servem como módulos espaciais para análise de sistemas físicos de paisagens fluviais.

Rios e correntes transportam sedimentos originados da erosão e, quando depositados ao longo do curso, formam extensas áreas de sedimentação. A erosão fluvial pode também dar origem a formas características de relevo, conforme o maior ou menor entalhamento dos rios, de acordo com o tipo de sedimento que carrega e com o material rochoso que lhe dá embasamento. Uma grande variedade de formas são produzidas pelo escoamento fluvial, mas os rios geralmente agem em conjunto com outros processos geomorfológicos, atuando diretamente no desenvolvimento das paisagens.

Os processos morfogenéticos que agem nas vertentes fornecem o material a ser transportado pelos cursos d'água e, indiretamente, influenciam e controlam a erosão aerolar, provocando a formação dos vales e das vertentes.

Em uma bacia hidrográfica pode-se também estudar o balanço hídrico e os recursos em água, estimar a probabilidade da ocorrência e alcance de eventos extremos (inundações) e verificar quais as áreas que podem ser mais afetadas. Podem-se mobilizar informações hidrológicas capazes de fazer com que o homem possa utilizar mais racionalmente os recursos d'água, possibilitando melhor compreensão do sistema fluvial e o conhecimento de quando e onde ele deve intervir no ciclo hidrológico.

Outro aspecto importante dos rios é o seu grande significado para o ser humano. O uso dos rios como suplemento em água tem aumen

tado consideravelmente nos últimos anos. A necessidade de água potável tem se tornado um dos problemas fundamentais do nosso tempo, em virtude da degradação acelerada do meio ambiente, em função da industrialização e do grande crescimento da população.

Por essas razões, a bacia hidrográfica tem sido reconhecida como unidade geomorfológica fundamental, e seu estudo pode ser encarado como um dos pontos principais para a compreensão da evolução das paisagens.

## 1.2 - PROPOSIÇÕES E OBJETIVOS

Após 1945, ano da publicação do trabalho de Horton, houve uma explosão da literatura sobre morfometria e topologia de bacias hidrográficas e atualmente é grande o número de pesquisadores que se dedicam a esse tipo de estudo.

Segundo Gardiner (1974), o termo morfometria, tem sido aplicado tradicionalmente às análises numéricas de dados extraídos de cartas e mapas, mas essa definição pode ser estendida para incluir o uso de todas as fontes de dados disponíveis, incluindo levantamento de campo, uso de fotografias aéreas, e, atualmente, a utilização de imagens orbitais. Ainda segundo o autor, a morfometria de bacias hidrográficas pode ser usada em estudos geomorfológicos regionais, para se poder ter alguma descrição da área, antes da execução de um trabalho de campo detalhado.

Foi nos Estados Unidos que a Geomorfologia Fluvial tomou grande impulso, liderando os trabalhos sobre quantificação de bacias hidrográficas e empregando, cada vez mais, métodos estatísticos e computacionais nessas pesquisas.

Recentemente Gardiner and Park (1978) realizaram um trabalho sobre esse assunto, procurando fazer um levantamento completo sobre a bibliografia publicada, indo desde os trabalhos pioneiros até os atuais, procurando mostrar aos interessados a volumosa literatura que existe nessa área.

Fazendo-se análise dessa bibliografia especializada, pode-se notar que os estudos morfométricos de bacias hidrográficas têm sido inteiramente baseados em dados levantados através de *cartas topográficas* e mapas existentes. Isso pode ser facilmente compreendido em função da grande quantidade de dados utilizados e da dificuldade de medir comprimento e número de canais, diretamente no campo, tornando a tarefa enfadonha e praticamente inviável.

Como as cartas topográficas podem ser confeccionadas nas mais variadas escalas, pode-se levantar o problema de qual seria a escala ideal para fazer esse tipo de estudo. Segundo Gardiner (1974), a escolha da carta ou do mapa a ser utilizado nos estudos de morfometria depende principalmente da *viabilidade da carta*, do *propósito da pesquisa* e da *escala em que se quer estudar o problema*. Parece, então, fora de dúvida que cabe ao pesquisador escolher a escala que melhor lhe convém, em função do tipo de trabalho que está realizando.

As dificuldades de levantar canais de drenagem através de cartas e mapas é um assunto muito debatido por diversos autores, lembrando-se sempre de que a carta é uma representação da realidade e que, na melhor das hipóteses, representa uma média das redes de drenagem que dependem sempre da percepção do restituidor e da habilidade do cartógrafo na confecção da mesma.

Segundo Christofolletti e Perez Filho (1975), o problema da escala em estudo morfométricos é ainda uma questão muito discutida; Christofolletti, em seus estudos e nas pesquisas que tem orientado, vem adotando a escala de 1:50.000, pois é a escala mais facilmente disponível. Gardiner (1974) mostra que na Grã-Bretanha as cartas topográficas na escala de 1:25.000 têm sido consideradas as melhores para estudos morfométricos de bacia hidrográficas.

Percebe-se que quanto maior for a escala utilizada, na qual os canais são bem individualizados, mais aumentará a precisão das medidas. Por outro lado, se cartas nessas escalas são excelentes fonte de dados para estudos morfométricos, elas apresentam um problema operacional, que é dificuldade de trabalhar nessa escala. Geralmente as ba cias hidrográficas envolvem grandes áreas, e quanto maior for a área da ba cia mais difícil se tornará trabalhar nessa escala, em função da ne cessidade de reunir um determinado número de cartas para poder delimi tar uma única bacia hidrográfica.

As fontes de dados para estudos morfométricos e topológicos têm aumentado consideravelmente. Por volta de 1960, começaram a apa recer muitos trabalhos de morfometria, baseados em fotografias aéreas convencionais.

O uso de fotografias aéreas como fonte de dados para os estudos morfométricos apresentam certas vantagens e desvantagens. Se por um lado elas não apresentam problemas de compilação e generalização, há por outro lado uma série de dificuldades que se podem citar sucintamente: a) Dificuldade de interpretar as fotos aéreas com relação à rede de drenagem, pois frequentemente a cobertura vegetal obscurece os canais secundários dificultando o seu delineamento, e gera muitas dúvidas quanto ao fato de o canal restituindo ser verdadeiramente um canal fluvial, ou apenas um ravinamento provocado pelo escoamento concentrado em áreas de maior declividade; b) Deve-se restituir foto por foto, o que torna a pesquisa muito trabalhosa e demorada; c) Como bacias hidrográficas geralmente abrangem grandes áreas, exige-se também um grande número de fo tográfias, o que encarece demais o trabalho; d) Em função da distorção das fotografias, exige-se também todo o processo de triangulação radial o que geralmente é complexo e demorado, etc.

Em virtude desses problemas, Gardiner (1974) sugere que as fotografias aéreas convencionais têm maior utilidade para os estudos morfométricos quando utilizadas nos seguintes casos: a) para complemen tar certas áreas que apresentam dúvidas nas cartas topográficas; b) pa ra pequenas áreas sem cobertura vegetal; e c) para testar certas cartas topográficas, cuja precisão do traçado da rede fluvial não é muito con fiável.

Quanto a este último item, vê-se que Christofolletti e Perez Filho (1975) fizeram esse tipo de teste para avaliar a significância, as distorções e as omissões ocorrentes na confecção das folhas topográficas na escala de 1:50.000, editadas pelo IGG e pelo IBGE. Para isso utilizaram fotografias aéreas na escala de 1:25.000, do levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo, efetuado em 1962, e chegaram à conclusão de que a carta topográfica na escala de 1:50.000 é uma boa fonte de dados para estudos dessa natureza. Em função dessa problemática, foi desnecessário utilizar, neste trabalho, fotografias aéreas convencionais para serem comparadas com as cartas topográficas ou funcionarem como fonte de dados morfométricos.

Ultimamente, com o desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto, novos métodos de obtenção de dados tornaram-se possíveis, ampliando assim os métodos tradicionais de aquisição de dados.

McCoy (1969) utiliza imagens de radar na escala de 1:200.000 para fazer estudos de bacias hidrográficas, mostrando que essas imagens dão bons resultados para o levantamento de dados, além de apresentar duas grandes vantagens: a grande área recoberta e a quantidade de detalhes topográficos fornecidos pela imagem. Nesse trabalho o autor também mostra que a imagem de radar oferece várias vantagens (não depende da iluminação solar; não é afetada pelas nuvens; propicia levantamentos de reconhecimento rápidos e acurados; apresenta grande quantidade de detalhes geomorfológicos em relação à sua escala, maior cobertura da superfície, etc.) sobre as fotografias aéreas e as cartas topográficas para certos tipos de estudo, e que as deficiências que existem na imagem podem ser compensadas sem prejudicar o trabalho.

Atualmente as imagens de satélite têm se tornado um campo atrativo para a obtenção de dados relativos ao levantamento de bacias hidrográficas. Essas imagens também apresentam algumas qualidades que podem ser exploradas nesse tipo de estudo.

Em estudos ambientais, a aplicação mais óbvia e imediata das imagens orbitais do satélite LANDSAT é obter, de maneira rápida, acurada e precisa, uma representação visual e planimétrica da rede de drenagem.

Uma vantagem das imagens orbitais é que elas mostram ao pesquisador uma grande área da superfície terrestre e permitem, através da análise visual ou mesmo quantitativa, verificar se há variação nos padrões regionais. Sabe-se também que o sensor MSS possui quatro canais de informação (quatro bandas espectrais) que possibilitam melhor identificação dos elementos em estudos, além de imagear a mesma área a cada 18 (dezoito) dias, possibilitando estudos evolutivos.

McCoy (1969, 1970) mostrou como a drenagem pode ser analisada através de imagens multiespectrais, e como parâmetros morfomêtricos em imagens orbitais podem ser analisadas por meios automáticos (McCoy, 1970, 1971).

Comparando-se as imagens LANDSAT com as de Radar para estudos morfométricos, vê-se que elas apresentam certa vantagem sobre esse sensor. Em primeiro lugar, sua escala é fixa, isto é, não sofre variação, enquanto com as imagens de Radar é preciso tomar grandes cuidados, porque são muito frequentes as variações na escala. Nas imagens LANDSAT não há os problemas de distorção e sombreamento, que são comuns nas imagens de radar. Finalmente as imagens LANDSAT apresentam melhor resolução e contraste, enquanto nas imagens de Radar esses parâmetros estão em função dos instrumentos usados e a quantidade de detalhes difere de uma imagem para outra, dificultando o levantamento da rede hidrográfica nas imagens de Radar.

Sabe-se também que, em uma país de dimensões continentais como é o caso do Brasil, existem grandes áreas praticamente desconhecidas em que a documentação cartográfica é inexistente. Desse modo as imagens orbitais do satélite LANDSAT podem suprir essa lacuna, servindo de

documento básico para vários tipos de estudos, entre eles o levantamento e a análise morfométrica das bacias hidrográficas, que podem ser feitos com grande economia e rapidez. Isso também pode ser justificado pela precisão cartográfica das imagens LANDSAT<sup>(1)</sup>.

Em função dessas e de muitas outras vantagens da utilização de imagens orbitais, pretende-se com este trabalho atingir os seguintes objetivos.

a) Objetivo geral

- Utilizar as imagens orbitais do satélite LANDSAT como documento básico para o levantamento de dados relativos aos aspectos morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas.

b) Objetivos específicos

- Comparar as informações obtidas através das imagens LANDSAT na escala de 1:250.000, com as obtidas através de cartas topográficas, da mesma área, nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.
- Correlacionar e interpretar as variáveis e parâmetros morfométricos e topológicos, levantados nas imagens LANDSAT e nas cartas topográficas, para avaliar a significação das imagens orbitais para esse tipo de estudo.
- Procurar interpretar as informações morfométricas das bacias hidrográficas estudadas e relacioná-las com elementos do quadro natural, tais como a geologia e relevo.

---

(1) Apesar de as imagens LANDSAT apresentarem boa precisão cartográfica, a projeção das imagens (SOM - Space Oblique Mercator) é diferente da projeção das cartas topográficas (UTM), podendo haver pequenas distorções quando comparadas entre si.

- tentar desenvolver um procedimento de utilização das imagens orbitais do satélite LANDAST, na escala de 1:250.000 para estudos morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas, para serem utilizadas em áreas carentes de documentação cartográfica.

Como base nesses objetivos, deseja-se assinalar que a intenção é desenvolver um trabalho que possa trazer alguma contribuição para a utilização das imagens LANDSAT, como fonte de dados para estudos morfométricos de bacias hidrográficas, bem como despertar o interesse para futuras pesquisas.

### 1.3 - REVISÃO DA LITERATURA

A bibliografia é considerada elemento indispensável para a realização desta pesquisa; foi através delas que se tomou conhecimento de grande avanço dos estudos morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas, permitindo aprofundar os conhecimentos sobre esse assunto.

Qualquer estudioso que está familiarizado ou se familiarizando com as atuais tendências da Geomorfologia Fluvial, poderá sentir que o número de trabalhos nessa área está se avolumando rapidamente.

Outro fato que chama a atenção é que esses trabalhos sobre quantificação de bacias hidrográficas estão se tornando muito especializados e apresentam grande sofisticação nas técnicas de análise (emprego em grande escala de métodos estatísticos e de computação). É principalmente nos Estados Unidos que se verifica a explosão de trabalhos quantitativos sobre bacias hidrográficas; atualmente é grande o número de pesquisadores que se dedicam a esses estudos, contribuindo para o seu rápido desenvolvimento. Recentemente Gardiner and Park (1978) realizaram compilação sobre esse assunto, fazendo levantamento completo sobre a bibliografia publicada, que inclui desde os trabalhos pioneiros até



os atuais. Nesse levantamento bibliográfico os autores mostram a volumosa literatura existente nessa área, a qual tende a aumentar cada vez mais, pois é grande o interesse dos geomorfólogos americanos de após guerra pelos estudos de morfometria e topologia de bacias hidrográficas.

No Brasil, os primeiros trabalhos sobre morfometria de bacias hidrográficas foram elaborados por Freitas (1952), Tolentino et alii (1968), e França (1968), os quais permaneceram como trabalhos isolados e de pouca divulgação. Coube a Christofolletti (1969) o método de introduzir e divulgar, de maneira didática e de fácil compreensão, os conceitos básicos sobre morfometria e topologia de bacias hidrográficas que até então eram quase desconhecidas em nosso país.

Os trabalhos de Christofolletti trouxeram grande abertura para os geomorfólogos brasileiros que se preocupam com os problemas ligados à Geomorfologia Fluvial e que, até então, sõ tomavam conhecimento desses trabalhos através da literatura estrangeira, geralmente de difícil aquisição.

Dentre os vários trabalhos de Christofolletti, destaca-se um considerado fundamental que se intitula: "Morfometria de Bacias hidrográficas". Essa publicação tem grande importância para os estudiosos brasileiros, pois foi o primeiro trabalho em língua portuguesa no qual o autor procurou sintetizar, de forma didática e compreensível, os índices e parâmetros utilizados na análise de bacias hidrográficas nos seus aspectos areal, linear e altitudinal. Segundo o próprio autor, sua preocupação maior nesse artigo foi definir e divulgar esses índices e parâmetros, sem entrar em pormenores de aplicação e exemplos.

Neste mesmo artigo o autor mostra que Freitas (1952) já tinha publicado um trabalho sobre a textura topográfica, no qual utiliza a densidade de drenagem como índice para medir a rugosidade do terreno. Foi o primeiro trabalho desenvolvido nessa área, mas por motivos desconhecidos não teve grande receptividade no Brasil.

Os primeiros estudos sobre morfometria de bacias de drenagem, que se tornaram de domínio público, foram elaborados por Tolentino et alii (1968), que estudaram pequenas bacias próximas à cidade de São Carlos, e por Gandolfi (1968), que fez sua tese de doutoramento sobre morfometria de bacias hidrográficas, estudando uma parte da bacia do Rio Mogi-Guaçu. Nesse mesmo ano, França (1968) elaborou um trabalho sobre interpretação fotográfica de bacias hidrográficas aplicadas a solos da região de Piracicaba, empregando índices morfométricos.

Segundo Christofolatti, esses trabalhos tiveram o grande mérito de ser os pioneiros, mas permaneceram isolados e não chegaram a contribuir para maior divulgação dos índices e parâmetros morfométricos que estavam sendo usados pelos geomorfólogos estrangeiros. Em função disto é que Christofolatti (1969, 1970a, 1970b, 1971a, 1973a) achou necessário preencher essa lacuna, publicando uma série de trabalhos sobre a morfometria de bacias hidrográficas, preocupando-se sempre em divulgar os conceitos teóricos e metodológicos mais recentes que vieram abrir uma grande perspectiva para os geomorfólogos brasileiros.

Coube também a Christofolatti (1973a) elaborar o primeiro trabalho em língua portuguesa sobre topologia de bacias hidrográficas que mesmo sendo um trabalho inteiramente baseado em bibliografia, como a ele se refere o autor, tem o mérito de traçar os conceitos básicos para a compreensão dessa problemática e servir de introdução ao tratamento mais sofisticado da análise topológica. Segundo o autor, a análise topológica da rede de drenagem não se refere aos padrões de drenagem ou a medidas de comprimento, área ou orientação, mas se preocupa com maneira pela qual os vários canais se encontram conectados. O reconhecimento de uma hierarquia de canais de drenagem é muito importante, pois dá informações sobre os diferentes aspectos morfométricos e hidrológicos associados a eles.

Essa abertura para análise quantitativa de bacias hidrográficas fez com que vários pesquisadores brasileiros se interessassem pela Geomorfologia Fluvial e atualmente estão surgindo várias teses de Mestrado sobre morfometria de bacias hidrográficas. Destacam-se aqui al

guns desses trabalhos, que vieram contribuir sobremaneira para o desenvolvimento das pesquisas sobre a análise morfométrica no Brasil. São eles: Cesar (1977), que utiliza índices morfométricos para estudar a teoria do equilíbrio dinâmico aplicado às bacias hidrográficas do Planalto Ocidental Paulista; Perez Filho (1977), que emprega uma série de índices morfométricos para fazer a análise estrutural da bacia do Rio São José dos Dourados, na região norte-ocidental do Estado de São Paulo; e Machado (1979), que procura aplicar as leis de Horton para compreender a estruturação das bacias hidrográficas do Planalto Paulistano e das Escarpas da Serra do Mar.

Com respeito à bibliografia estrangeira sobre morfometria e topologia de bacias hidrográficas, vê-se que ela proliferou muito rapidamente nos últimos anos, e é muito difícil para um principiante nesse assunto fazer uma análise pormenorizada e profunda dessa vastíssima literatura. Ressalta-se mais uma vez que o trabalho de Gardiner and Park (1978) é muito interessante, sob esse ponto de vista, pois dá ao neófito uma visão geral dos trabalhos que foram realizados até então, não só nos Estados Unidos mas também em outros países.

Em uma análise resumida pode-se notar que o mérito do desenvolvimento da Geomorfologia quantitativa para a análise das bacias hidrográficas é devido, em grande parte, a Robert E. Horton, engenheiro hidráulico norteamericano que muito contribuiu para o desenvolvimento dessa ciência. Horton (1945) foi o primeiro a fazer medidas completamente diferentes para o estudo das redes hidrográficas. Ele interessou-se por medidas quantitativas de bacias hidrográficas e seu trabalho foi baseado no método de classificar individualmente os canais de drenagem, ordenando-os segundo critérios prefixados.

A contribuição de Horton foi muito significativa, porque conseguiu formular leis explícitas da composição da drenagem baseando em simples observações do número e do comprimento dos canais. Essas observações podem ser facilmente medidas através de mapas e cartas topográficas e transformadas em dados que podem, depois, ser trabalhados estatisticamente.

A formulação de Horton para a análise de bacias hidrográficas estimulou o uso de métodos numéricos nas pesquisas geomorfológicas e fez com que a Geomorfologia fosse considerada o "front" da revolução quantitativa que se processou na Geografia; seu trabalho marcou também uma mudança radical nas pesquisas sobre medidas de padrões de drenagem, por dar ênfase aos métodos quantitativos e por ser o primeiro a fazer considerações topológicas sobre as redes hidrográficas.

Strahler (1952, 1957) adotou um sistema de ordenação diferente, modificou o sistema de classificação proposto por Horton e expandiu os estudos quantitativos sobre os aspectos geomorfológicos das vertentes, mas não investigou as relações entre as propriedades das redes e as características dos canais de drenagem.

Horton (1945) e Strahler (1964) consideraram a relação de bifurcação como representativa das características estruturais de uma rede hidrográfica. Eles sugeriram, também que esta relação estava ligada às características geomórficas e hidrológicas das vertentes.

Contribuição importante foi a de Shreve (1966) que, pela introdução do modelo das redes de canais topologicamente aleatória trouxe uma nova e importante dimensão para a classificação e avaliação das redes hidrográficas. Como na natureza as combinações topológicas são muito variadas, surge uma complexidade; então Shreve derivou o conceito de população topologicamente aleatória, que pode ser definida como a "população dentro da qual toda rede topologicamente distinta, com igual número de ligamentos, tem a mesma possibilidade de ocorrer".

Smart (1969) sugeriu que o método empregado por Horton e Strahler para a classificação topológica de redes é muito amplo na sua definição, enquanto o proposto por Shreve era muito detalhado. Propôs, então, um novo método; sugeriu que as redes de mesma magnitude fossem classificadas de acordo com as classe ambilaterais e considerou que essa classificação estava mais bem relacionada com as propriedades hidrológicas e geomorfológicas das redes de drenagem.

Mais recentemente Werner e Smart (1973) desenvolveram no vos métodos para a classificação topológica das redes de drenagem. Um desses métodos tenta classificar topologicamente as redes de drenagem, conforme o número da trajetória, considerando-se como comprimento da trajetória a quantidade de ligamentos atravessados na conexão entre uma fonte e determinada junção.

Prosseguindo na análise da bibliografia, observa-se que é muito grande o número de pesquisadores que contribuíram para a evolução dos trabalhos sobre morfometria e topologia de bacias hidrográficas. Para encerrar este breve comentário podem-se citar alguns dos que mais se destacaram, tais como Schumm (1956), Melton (1957, 1958), Bowden e Wallis (1964), Hagget e Chorley (1969), Scheidegger (1970), Werritty (1972), Gardiner (1974), etc.

#### 1.4 - ESCOLHA DA IMAGEM E DA ÁREA DE ESTUDO

Para a realização deste trabalho foi escolhida a imagem do satélite LANDSAT, na órbita 206, ponto 27 (segundo as especificações usadas pelo INPE), de 26 de agosto de 1977, cópia em papel na escala de 1:250.000, pois foi a que apresentou melhores condições de contraste e ausência de nuvens.

Esta imagem está inteiramente localizada na região fisiográfica conhecida como Planalto Ocidental Paulista e abrange as coordenadas  $20^{\circ} 30'$  e  $22^{\circ} 30'$  de latitude sul e  $49^{\circ} 30'$  e  $51^{\circ} 30'$  de longitude oeste (Figura 1.1).

A escolha dessa área se deu por três razões principais: 1) a geologia dessa área é quase que totalmente constituída pela Formação Bauru, do Cretácio Superior; 2) Quanto ao aspecto topográfico, a característica fundamental do Planalto Ocidental é a sucessão de colinas onduladas, de relevo extremamente suavizado, com amplos interflúvios de topo tabuliforme, cujas altitudes junto às barrancas do rio Paraná não

ultrapassam 270 a 300 m; 3) adequação da área a este tipo de estudo, facilitando o emprego da metodologia a ser utilizada.

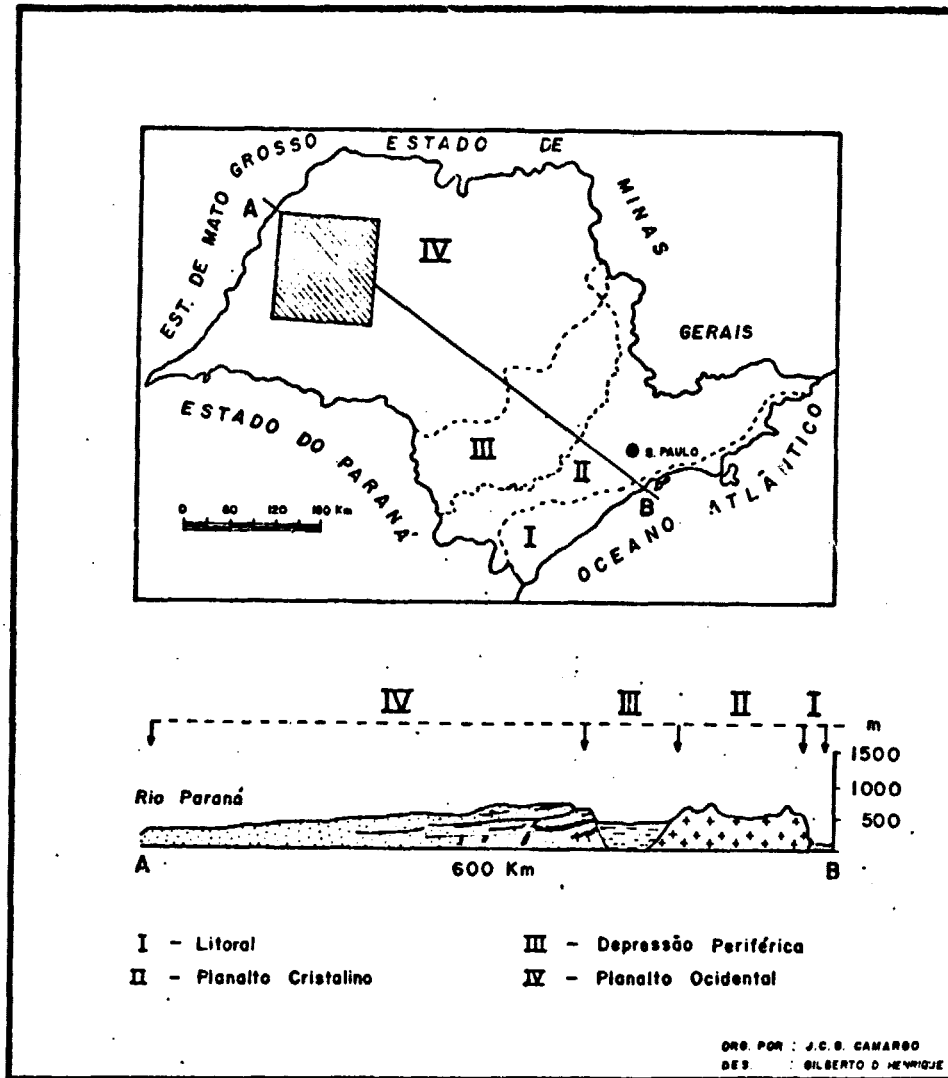


Fig. 1.1 - Localização da imagem LANDSAT no estado de São Paulo e perfil esquemático representativo das diferentes regiões naturais.

Então, de acordo com a escala de abordagem adotada, e para efeito de pesquisa, pode-se admitir, em termos gerais, que tanto as condições geológicas como os aspectos topográficos podem ser considerados como formadores de uma paisagem uniforme e monótona, facilitando assim o emprego dos vários índices e parâmetros morfométricos selecionados.

Numa rápida análise, vê-se que o Planalto Ocidental Paulista ocupa área de aproximadamente 100.000 km<sup>2</sup>, o que representa 2/5 da área total do Estado de São Paulo (Almeida, 1974). Topograficamente ele é caracterizado por colinas suavizadas de topo plano, que formam amplos interflúvios e dão um aspecto de grande monotonia para quem percorre essa região. Suas maiores altitudes no Estado de São Paulo estão nos rebordos orientais, mais precisamente nas áreas escarpadas do front da "Cuesta" arenítico-basáltica, apresentando as altitudes por volta de 900 a 1200 m.

A partir dos rebordos orientais, as camadas sedimentares dessa grande província fisiográfica inclinam-se suavemente em direção à calha do rio Paran, onde as maiores altitudes estão por volta de 300 m e a amplitude altimétrica regional não ultrapassa de 30 a 40 m.

Nota-se então que esse relevo, visto de uma maneira global, não apresenta desníveis altimétricos acentuados. Apenas se se descer numa escala de maior detalhe é que se pode notar que, em área localizadas, há maior movimento, justificada pela erosão diferencial. Ela desgasta as áreas mais friáveis, e os topos mais resistentes  erosão permanecem pois geralmente são capeados por arenitos da Formao Bauru, que são calcificados e de grande resistência aos agentes erosivos.

Em virtude da erosão fluvial é comum no leito dos rios o afloramento de rochas basálticas, da Formao Serra Geral, recobertas pela sedimentao ps-vulcânica.

Após essa visão geral da área, deve-se salientar que, como este estudo é de caráter metodológico, não se trabalhar na imagem toda, mas procurar-se- delimitar uma área menor na imagem, que em sensoramento remoto é comumente denominada "rea teste".

Fez-se uma análise visual da imagem escolhida e selecionou-se uma área onde a drenagem, que é o elemento a ser analisado, aparece bem nítida sendo fácil a sua identificação nos dois canais.

A "área teste" abrange um trecho do interflúvio Tiête-Agua peí (Feio) e é delimitada aproximadamente pelos meridianos de  $51^{\circ} 00'$  e  $49^{\circ} 45'$  de longitude oeste (Figura 1.2).



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

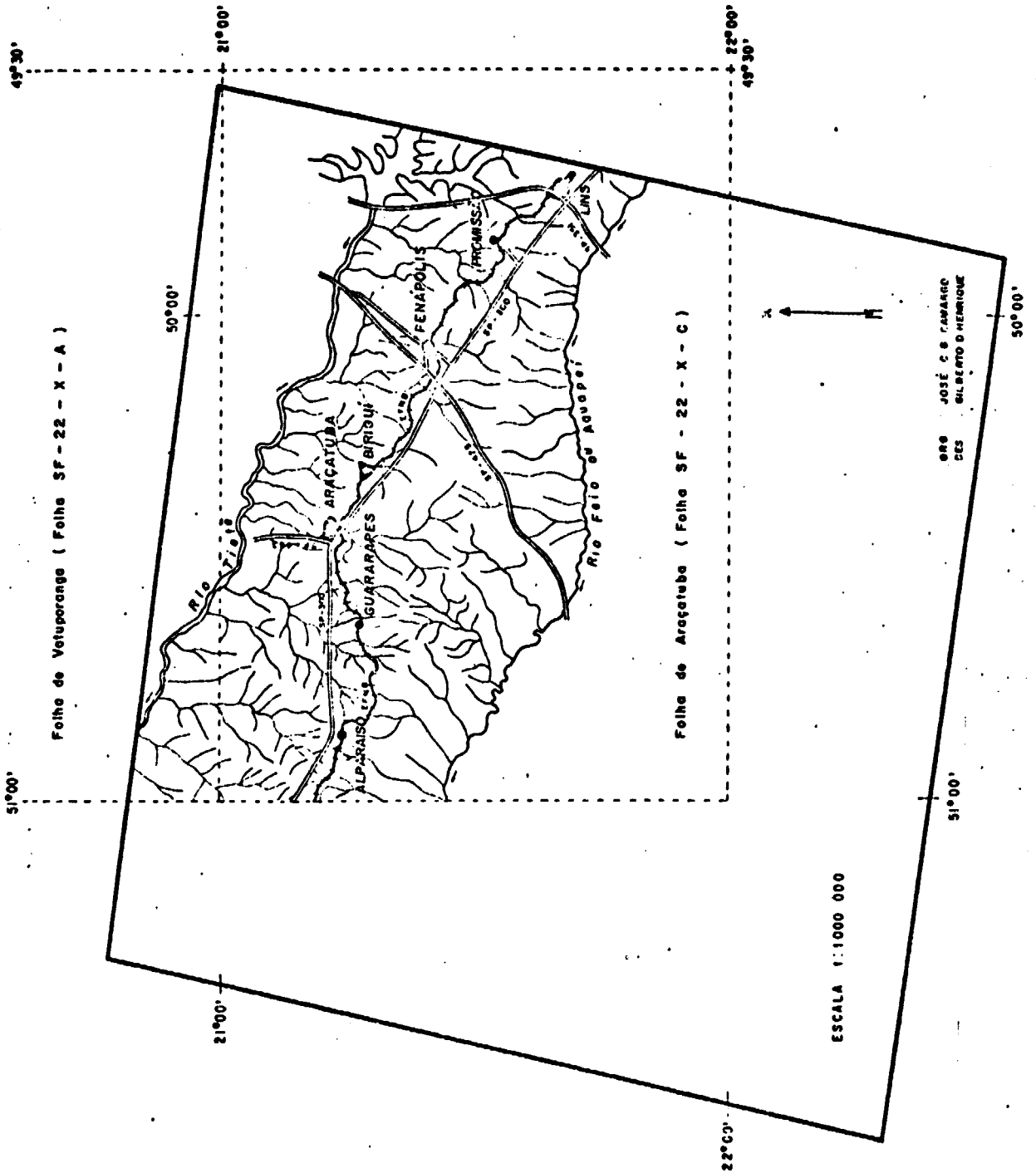


Fig. 1.2 - Localização da área teste em relação à imagem LANDSAT.

## CAPÍTULO 2

### DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA TESTE

Não se pretende fazer um estudo minucioso e detalhado dos aspectos físicos dessa área, mas sim dar uma visão resumida e sucinta dos principais traços físicos, para se ter idéia do quadro natural.

#### 2.1 - GEOLOGIA

A geologia da área é constituída quase que predominantemente pela Formação Bauru, do Cretáceo Superior. Essa formação é constituída por siltitos, arenitos, arenitos argilosos, geralmente com granulação fina e com presença de conglomerados misturados com cimento calcário. A Formação Bauru é muito bem estudada e descrita por Freitas (1955), Almeida (1964, 1974), Arid (1967), Suguio (1973), e outros.

Estudos mais recentes elaborados por Suguio et alii (1977) mostram que a Formação Bauru pode ser subdividida em três Litofácies denominadas Araçatuba ( $B_1$ ), São José do Rio Preto ( $B_2$ ) e Marília ( $B_3$ ). Segundo os autores, estas Litofácies possuem expressão geomorfológica que traduz diferentes comportamentos de relevo, devido a sua constituição sedimentológica diferenciada, o que torna possível e seu mapeamento.

Essas Litofácies foram identificadas através do mapeamento fotogeológico das imagens LANDSAT (Amaral, 1977) e de análises granulométricas, além de verificação de campo.

Na área de estudo em questão aparecem apenas as Litofácies  $B_1$  e  $B_2$ , que possuem as seguintes características (segundo os autores citados):

**PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED**

- *Litofácia Aracatuba (B<sub>1</sub>)* - É constituída de arenitos argilosos e silitos de granulação muito fina; para oeste, rumo à calha do rio Paranã, torna-se mais grosseira, com constantes afloramentos de um arenito cor vinho, que recobre o basalto nessa área. Caracteriza-se por baixa densidade de drenagem, relevo suave, vegetação natural rala e uso do solo para pastagens.
- *Litofácia São José do Rio Preto (B<sub>2</sub>)* - Apresenta frequentes estruturas hidrodinâmicas (estratificações cruzadas e marcas onduladas assimétricas) que representam um sistema fluvial com predominância de rios de maior porte que os da fase anterior. Caracteriza-se por maior densidade da drenagem, relevo mais movimentado, vegetação natural densa e intenso uso agrícola do solo.

A espessura dos sedimentos da Formação Bauru sofre variações em função da estrutura geológica e da morfologia. As espessuras menores são encontradas no vale dos grandes rios, tais como o Tietê, São José dos Dourados e Paranã, pois em função da erosão diferencial aflora aí o basalto subjacente.

Outra formação que aparece na área é a Formação Serra Geral, que é formada pelos extensos derrames de basalto que ocorreu no Jurássico superior e Cretáceo inferior. O basalto aflora principalmente no vale dos grandes rios.

Nos vales dos grandes rios podem ocorrer depósitos aluviais de idade Cenozóica (Figura 2.1).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

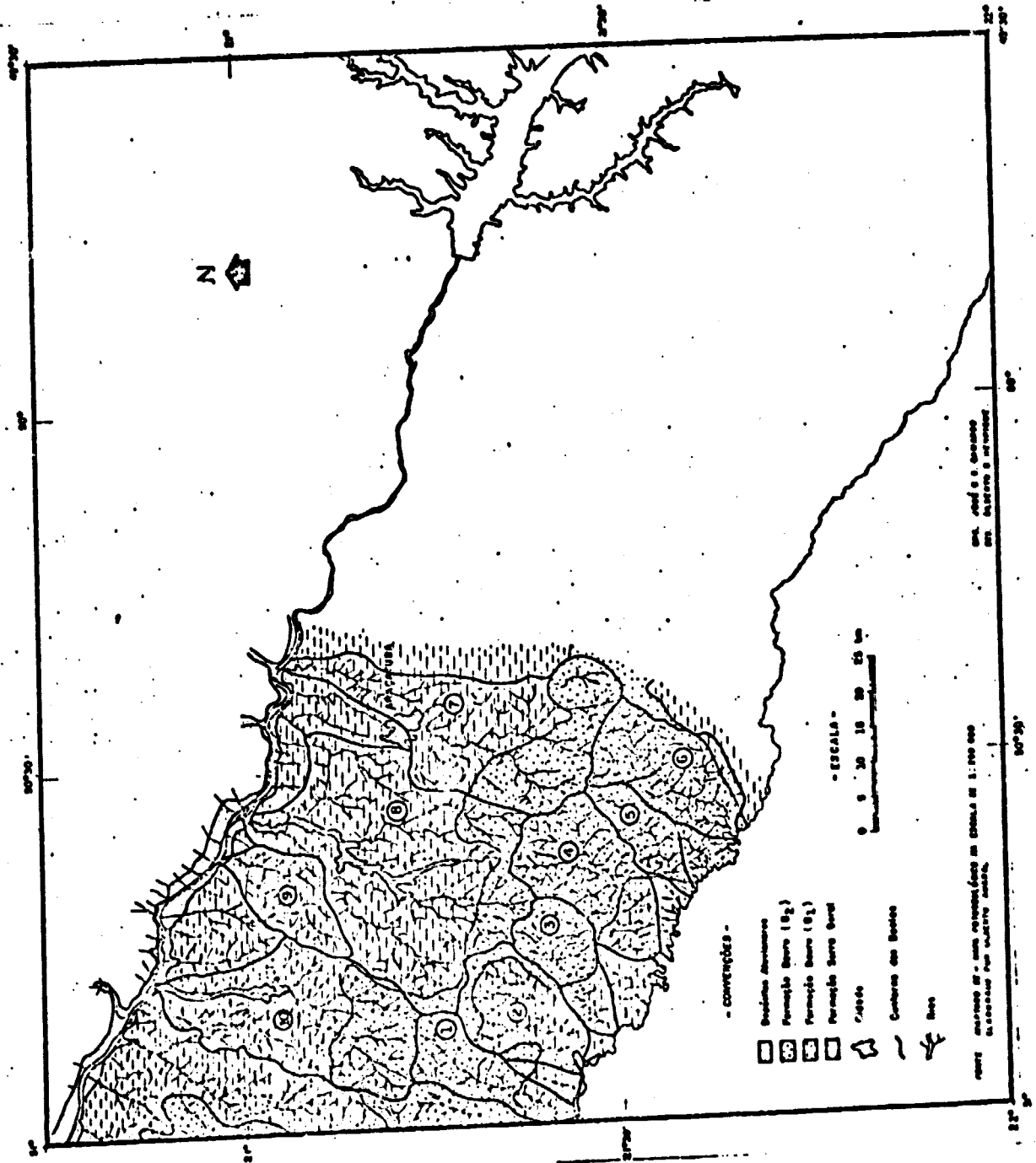


Fig. 2.1 - Esboço geológico da área.

## 2.2 - RELEVO

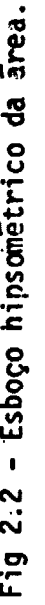
A característica fundamental da grande região fisiográfica paulista denominada Planalto Ocidental é a sua monotonia paisagística; apresenta colinas suavizadas do topo plano, que formam amplos interflúvios. As cotas altimétricas regionais estão por volta de 400 a 500 m e vão diminuindo à medida que se caminha em direção à calha do rio Paraná, onde as maiores altitudes não ultrapassaram os 300 m.

Numa análise rápida do esboço hipsométrico dessa área (Figura 2.2), vê-se que o fato mais marcante topograficamente é a presença de uma porção mais elevada, no sentido geral leste-oeste, que age como divisor d'água, separando nitidamente os afluentes que se dirigem para o rio Tietê e os que se dirigem para o rio Aguapeí (ou Feio).

Nesse interflúvio as altitudes estão por volta de 400 m e descem suavemente, através de grandes rampas, até atingirem o vale dos rios Tietê e Aguapeí, onde as altitudes estão por volta de 300 m. Vê-se que os desníveis nessa área, em sua maior parte, estão por volta de 100 m.

Outro fato que chama a atenção é que os afluentes da margem direita do rio Aguapeí (Feio), na porção centro-oeste da área, apresentam menor extensão em relação aos que se dirigem para o Tietê, isso pode ser facilmente explicado pela presença de um espigão mais elevado, do topo plano, com altitudes por volta de 500 m.

Outra característica dessa área é que os afluentes do rio Tietê e os do rio Aguapeí têm sentido diametralmente opostos, mas mantêm um paralelismo entre si e desembocam nos dois grandes rios, formando um ângulo quase reto, isto é, um ângulo de quase 90°.



### 2.3 - CLIMA

A compreensão das características climáticas de determinada área ou região é muito importante, pois pode dar informações valiosas para a análise da paisagem local. Com referência às bacias hidrográficas, vê-se que a precipitação tem papel decisivo por ser a responsável pelo fornecimento de energia ou "input" às bacias hidrográficas. A própria vegetação é considerada reflexo do clima e os agentes erosivos têm maior ou menor atuação, conforme a relação de forças entre a quantidade de precipitação, a cobertura vegetal e o relevo local.

Analisando o quadro da dinâmica climática regional, vê-se que o Estado de São Paulo, localizado na altura do Trópico de Capricórnio, apresenta-se como uma zona de transição onde ocorrem conflitos entre diferentes massas de ar. A gênese da dinâmica climática no Estado de São Paulo, bem como a origem dos fenômenos frontogênicos, estão muito bem estudados e detalhados no atlas elaborado por Monteiro (1963), denominado "A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo".

Assim, observa-se que as principais massas de ar que atuam nessa região, as quais são responsáveis pelas características dos climas locais, são: Massa de ar Tropical Continental, Massa de ar Equatorial e Massa polar Marítima - a qual atua num plano secundário.

A atuação dessas massas de ar durante o ano todo propicia um tipo de clima com precipitações maiores no verão (dezembro a março), atingindo índices por volta de 1.150 mm, e uma estação seca no período de inverno (abril a setembro), com índices de precipitação por volta de 200 mm.

Quanto aos totais médios anuais de precipitação, vê-se que variam de 1.200 mm na parte leste a 1.100 mm na parte oeste (Figura 2.3); este fato pode ser explicado pela orografia e pela continentalidade, pois quanto mais distante se estiver do litoral, em direção à calha do rio Paran , maior será a ocorrência de diminuição nos índices de precipitação.

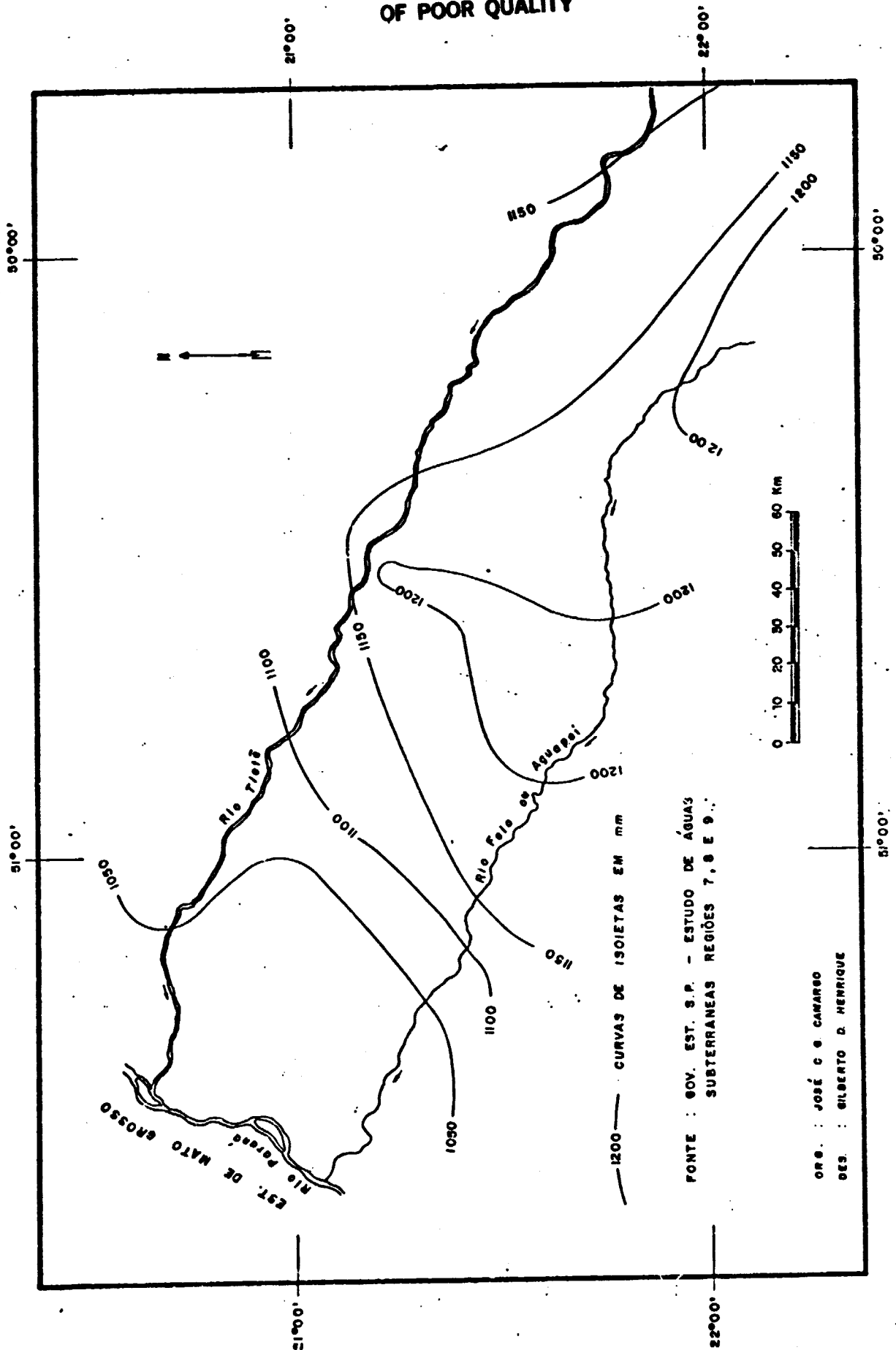


Fig. 2.3 - Mapa das isoietas anuais.



As temperaturas também sofrem variações durante o ano; as maiores temperaturas ocorrem nos meses de dezembro a março, com média mensais acima de  $20^{\circ}\text{C}$ , e caem para  $19^{\circ}\text{C}$  nos meses mais frios (junho e julho). Ilustra-se esse fato com um gráfico, demonstrativo da distribuição da temperatura média mensal da cidade de Araçatuba, localizada quase que no centro da área, podendo-se extrapolar esse dados para toda a região (Figura 2.4).

Quanto à umidade relativa do ar, ela é maior na época do verão (maiores precipitações), com valor aproximado de 70%, e diminui na época de inverno, quando diminuíam as precipitações, chegando por volta de 55% (Figura 2.5).

Finalmente, para melhor caracterizar as condições climáticas da área, pode-se usar a classificação de Koeppen. Ele baseou sua classificação nos valores médios de temperatura e precipitação, utilizando um nomeclatura especial para designar os tipos de clima. Apesar das críticas existentes a essa classificação ela ainda é muito aceita, e os mapas climáticos apontam para essa região dois tipos de climas denominados Aw e Cwa. O clima Aw - "Clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno" - apresenta uma estação chuvosa nos meses de outubro a abril, com índices de precipitação por volta de 1.100 a 1.300 mm, e uma estação seca que vai de maio a setembro, onde as precipitações são muito baixas. O clima Cwa - "Clima mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a  $18^{\circ}\text{C}$  e a do mês mais quente ultrapassa  $22^{\circ}\text{C}$ ". O total de chuva nos meses mais secos não ultrapassa 30 mm (Figura 2.6).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

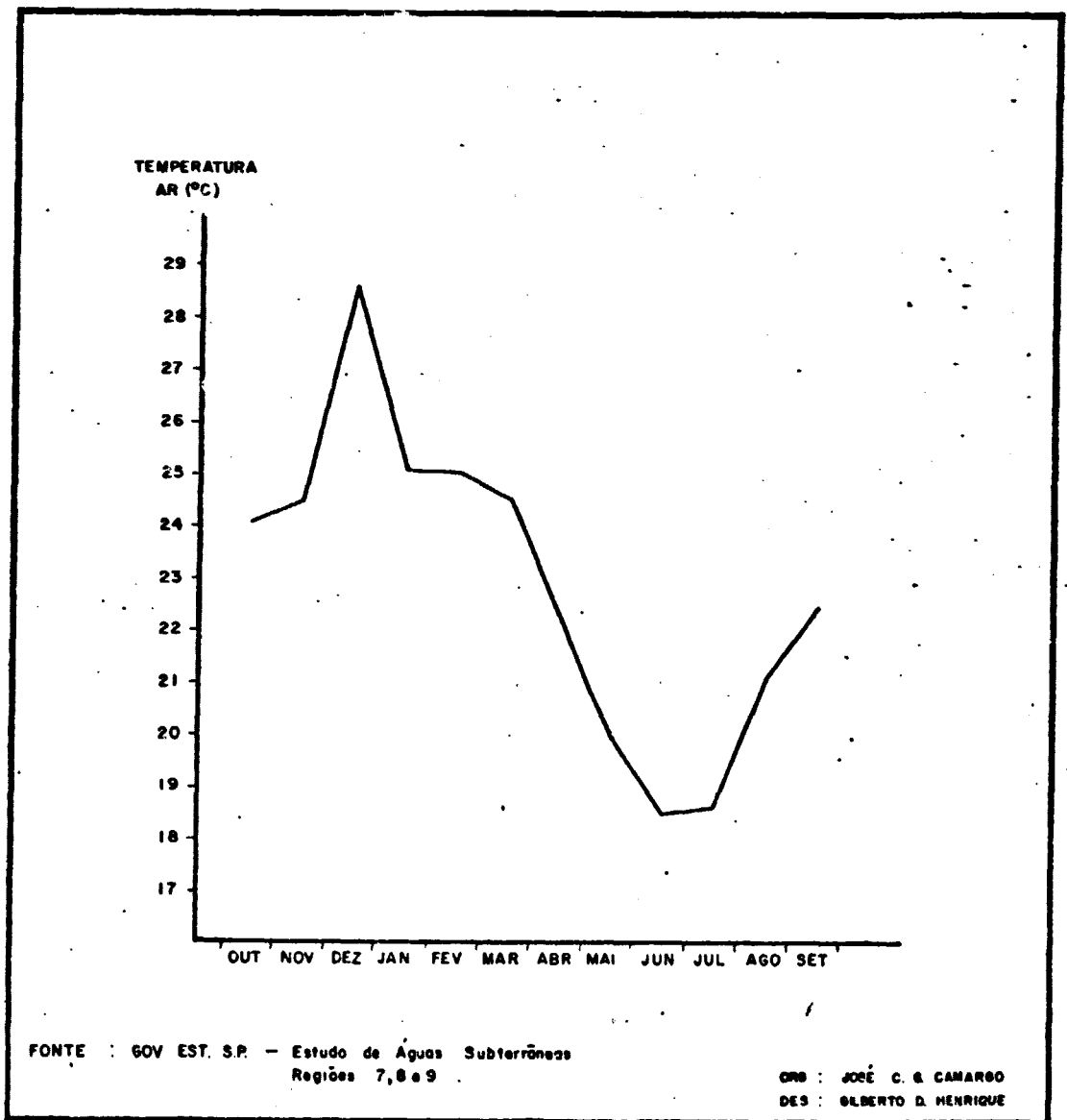


Fig. 2.4 - Temperatura média mensal da cidade de Araçatuba.

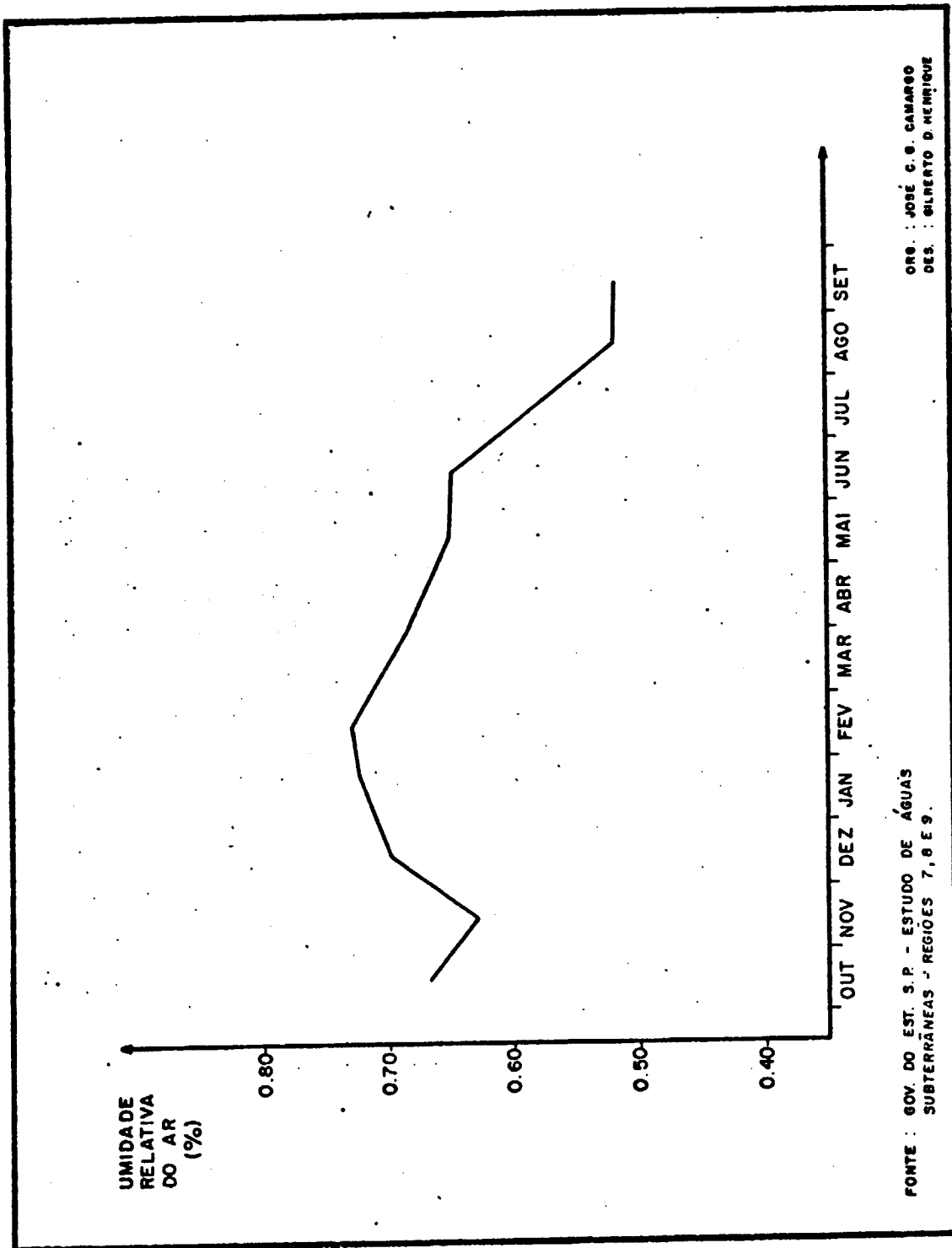


Fig. 2.5 - Umidade relativa do ar da cidade de Araçatuba.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

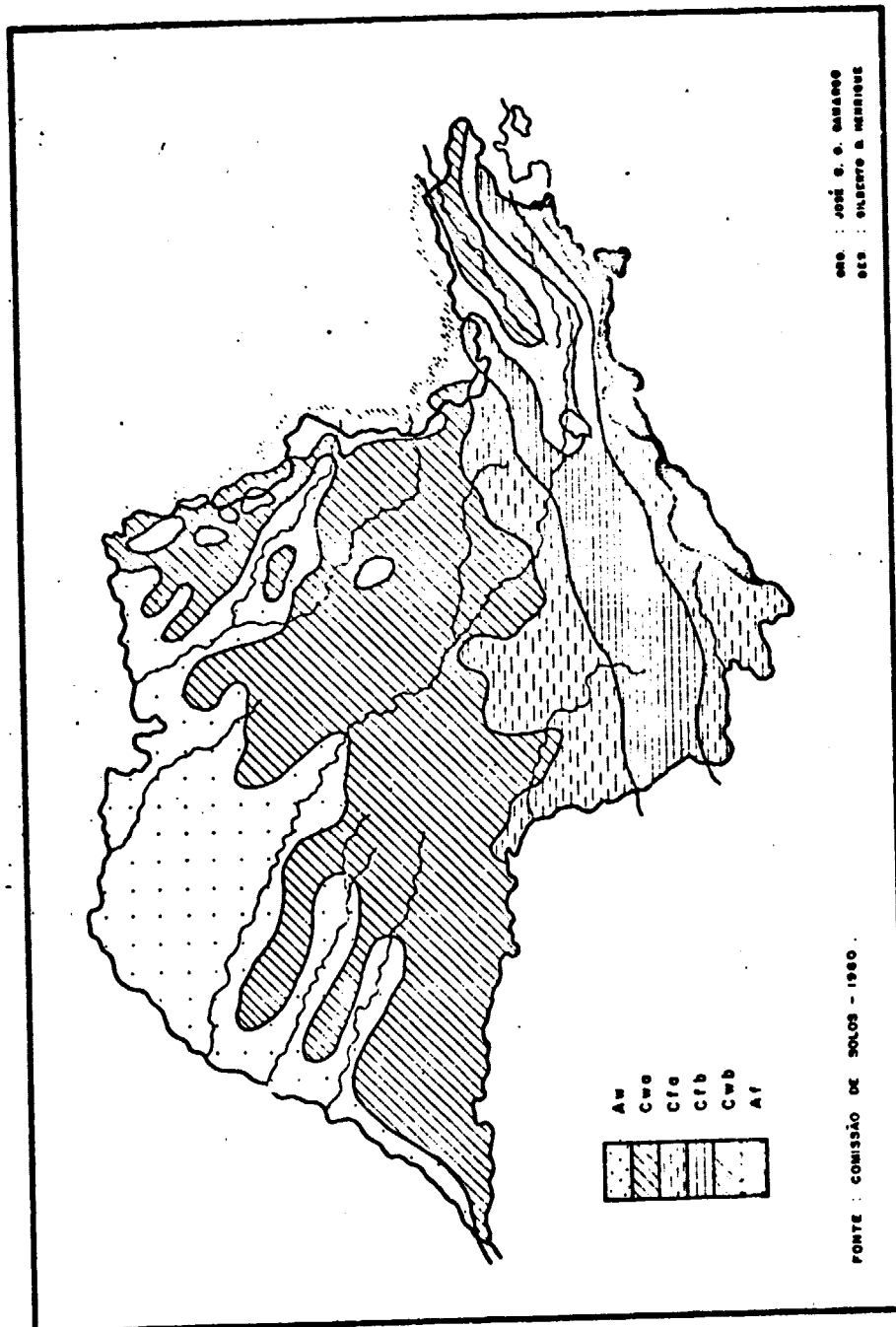


Fig. 2.6 - Mapa esquemático da divisão climática do Estado de São Paulo.

## 2.4 - VEGETAÇÃO, SOLOS E HIDROGRAFIA

No aspecto relativo à vegetação, a antiga Mata Latifolia da Tropical que cobria todo o oeste do Estado de São Paulo, chegando até as barrancas do Paranã, foi completamente destruída. O que existe hoje na área é predomínio das lavouras, destacando-se as de café, milho, algodão, amendoim, etc. e as pastagens para a criação de gado.

Nas baixadas e cabeceiras dos rios aparecem, em alguns lugares de topografia um pouco mais acentuada, capoeiras ou matas um pouco mais desenvolvidas, mas de pequena expressão areal. Também aparecem nessa área algumas manchas de cerrado e pequenas áreas reflorestadas (Figura 2.7).

Os principais grupos de solos que ocorrem na área são provenientes da Formação Bauru, destacando-se os solos Podzólicos de Lins (derivado do B<sub>2</sub>) e Marília (derivado do B<sub>3</sub>) e o Latossol Vermelho Escuro (derivado do B<sub>1</sub>) fase arenosa, que são os que apresentam maior distribuição areal.

Segundo a Comissão de Solos (1960), os solos Podzolizados de Lins e Marília estão associados a relevos suavemente ondulados, com topos levemente arredondados ou achatados, formando vales bem abertos. Eles são originados de arenitos da Formação Bauru, com cimento calcário. A maior parte desses solos são utilizados para a agricultura, principalmente a cultura de algodão e do amendoim.

O Latossol Vermelho escuro fase arenosa são solos profundos, arenosos, acentuadamente drenados, de cor vermelho-escuro. São originados do arenito Bauru sem cimento calcário e ocorrem em áreas de relevo suavemente ondulado, com colinas de encostas com grandes declives e vales abertos. Esses solos são geralmente usados para pastagens e algumas pequenas culturas, tais como o milho e a mandioca.

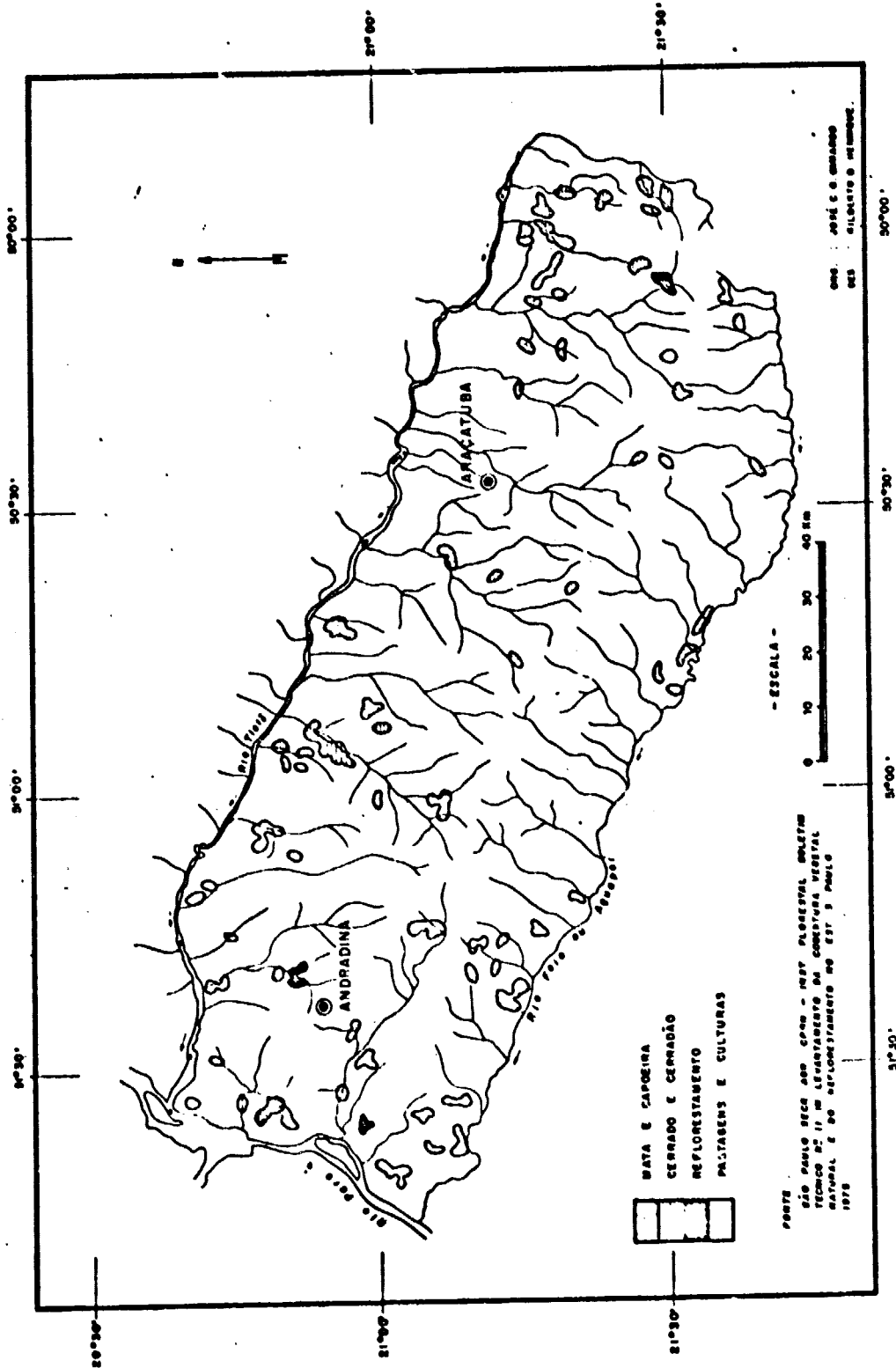


Fig. 2.7 - Cobertura vegetal da área.

O Planalto Ocidental apresenta maior densidade de drenagem nas áreas onde predomina o arenito Bauru misturado com cimento calcário, que, sendo uma camada impermeável, dificulta a infiltração e provoca o aumento do escoamento superficial. Predominam nessa área as redes de drenagem dentríticas.

Essa descrição geral do quadro natural da área é importante para a interpretação dos dados levantados sobre as bacias hidrográficas, conhecendo-se o ambiente em que elas se desenvolveram.

### CAPÍTULO 3

#### MATERIAIS E MÉTODOS

##### 3.1 - MATERIAIS

Este capítulo diz respeito à documentação e ao aparelhamento empregado na obtenção dos dados. A documentação básica utilizada neste trabalho são as imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 e as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

##### 3.1.1 - IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT

Utilizaram-se apenas os canais 5 e 7 da imagem LANDSAT (órbita 206, controle 27, de 26 de agosto de 1977, na escala de 1:250.000), pois são os que dão melhores resultados para o levantamento da rede hidrográfica (Moraes, 1975; Aleirio et alii, 1976; Santos, 1977).

##### 3.1.2 - CARTAS TOPOGRÁFICAS

Para comparar as informações levantadas nas imagens LANDSAT, fizeram-se as mesmas medidas em bacias hidrográficas levantadas a partir de cartas topográficas da área, nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

As cartas topográficas na escala de 1:250.000 utilizadas são:

- Carta Topográfica de Araçatuba (Folha SF-22-X-C). IBGE.
- Carta Topográfica de Votuporanga (Folha SF-22-S-A). IBGE.

As cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000 utilizadas são as seguintes:

- Bacuri;
- Aracanguá;
- Araçatuba;



- Bento de Abreu;
- Salmourão;
- Rinópolis;
- Valparaíso;
- Ribeiro do Vale;
- Guararapes;
- Birigui;
- Clementina.

### 3.1.3 - MATERIAL CARTOGRÁFICO USADO PARA SUPORTE DA PESQUISA

Além das cartas mencionadas acima, utilizaram-se também ou tras cartas e mapas para complementar a documentação:

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo (1:1.000.000 - IGG).
- Mapa Hipsométrico do Estado de São Paulo (1:1.000.000 - IGG).
- Carta do Brasil ao milionésimo (Paranapanema-SF-22 - IBGE).
- Mapas e Atlas existentes.

### 3.1.4 - MATERIAL DE ESCRITÓRIO E DESENHO

Como este trabalho consistiu em fazer uma série de medidas e contagens dos canais fluviais nas cartas topográficas e nas imagens LANDSAT, utilizaram-se equipamentos simples de medição e desenho tais co mo: canetas, esquadros, réguas, curvímetros, transferidor, máquina de calcular, etc.

### 3.1.5 - BIBLIOGRAFIA

A bibliografia é considerada elemento indispensável para a realização desta pesquisa, pois foi através dela que se elaboraram as bases metodológicas e conceituais que nortearam essa pesquisa; as obras básicas citadas estão relacionadas no final do trabalho.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

3.2 - MÉTODOS

Nesta seção procurou-se explicitar o procedimento utilizado e como foram obtidos os índices e parâmetros morfométricos empregados.

Baseou-se esta pesquisa no esquema elaborado por Boesch (1970) e citado por Abreu (1976), em que o último faz a hierarquização das etapas de investigações em quatro níveis: obtenção dos dados, registro e armazenamento, processamento, e resultado final.

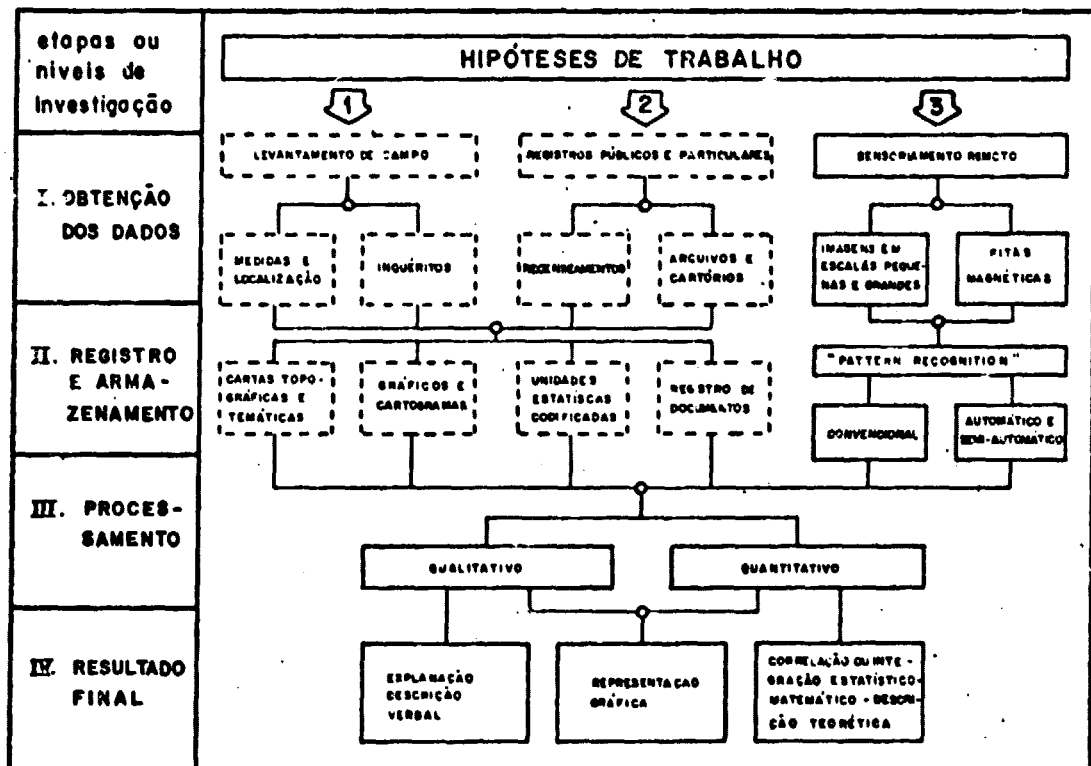


Fig. 3.1 - Hierarquização das etapas de investigação segundo Boesch, adaptado de Abreu (1976).

Parte-se da hipótese de trabalho que, no caso em questão, é a verificação da potencialidade das imagens orbitais do satélite LANDSAT (1:250.000), quando comparada com cartas topográficas da mesma área e nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, para estudos morfométricos e topológicos de bacias hidrográficas.

Analisando-se a Figura 3.1 vê-se que, depois de escolhida a hipótese de trabalho, pode-se recorrer a um ou mais dos três grandes canais de informação que são: levantamento de campo, registros públicos ou particulares, e sensoriamento remoto.

Nesta pesquisa optou-se pelo terceiro caso (levantamento de dados através de sensoriamento remoto), passando pelas diversas fases até chegar aos resultados finais<sup>(2)</sup>

Justifica-se então a ausência de um trabalho de campo nessa pesquisa, em virtude do procedimento empregado e também da dificuldade de fazer o levantamento, a medição e a contagem dos canais fluviais diretamente no campo.

---

(2) No que diz respeito ao processamento de dados, deve-se esclarecer que:

- a) Os parâmetros estatísticos foram calculados através do Programa "ESTAT", em linguagem FORTRAN, elaborado pelo Prof. Dr. Gilberto Amaral - Geociências - USP.
- b) Os coeficientes de correlação (segundo Pearson) e as retas de regressão foram calculadas através do programa "CORREL", em linguagem FORTRAN, também elaborado pelo Prof. Dr. Gilberto Amaral - Geociências - USP.
- c) As matrizes de correlação (correlação linear de Pearson) e os dendrogramas (baseados no método: Weighted Pair-Group Method) foram elaborados com base no Programa "NUMERICAL TAXONOMY". Este conjunto de programas foi desenvolvido por W.W. Moss, F.J. Rohlf e J. Hendrickson, cedido por W.W. Moss (The Academy of Natural Sciences of Philadelphia) ao Prof. Dr. Rubens A. da Cunha (Departamento de Matemática - UNESP - Rio Claro), e implantado no Sistema IBM - 1130 do Centro de Processamento de Dados da Escola de Engenharia de São Carlos - USP, por L.F. Blota, E.W. Cazarini e Rubens A. da Cunha.

### 3.2.1 - LEVANTAMENTO DA REDE HIDROGRÁFICA NAS IMAGENS LANDSAT

O levantamento da rede hidrográfica nas imagens LANDSAT foi feita através do método visual, isto é, através dos mesmos métodos usados na interpretação de fotografias aéreas convencionais, levando-se em conta que as imagens LANDSAT não permitem o uso da estereoscopia. Utilizou-se papel "ultraphan" transparente e seguiu-se a metodologia já bastante divulgada pelos técnicos do INPE, que consiste o seguinte procedimento:

- a) Utilizou-se o canal 7 para levantamento dos rios cuja largura e posição topográfica permitam a detecção da lâmina d'água, pois, como nesse canal a radiação eletromagnética é quase que totalmente absorvida pela água, esses rios aparecem bem definidos na imagem, contrastando visivelmente com as áreas adjacentes. Desse modo consegue-se traçar os rios maiores, que servem de orientação para se traçar a drenagem secundária. As imagens do canal 7 também realçam o relevo devido ao sombreamento mais pronunciado.
- b) Utilizando-se o "overlay" com a drenagem principal já delineada, superposto ao canal 5, consegue-se traçar a drenagem secundária, pois nesse canal, devido à diferença de tonalidade entre a mata ciliar que apresenta tons de cinza mais escuros e as áreas adjacentes, podem-se traçar os rios menores com boa precisão.

A interpretação da rede hidrográfica, tanto no canal 7 como no canal 5, foi auxiliada por cartas, mapas e fotografias aéreas que pudessem auxiliar na interpretação e tirar certas dúvidas existentes (Figura 3.2).

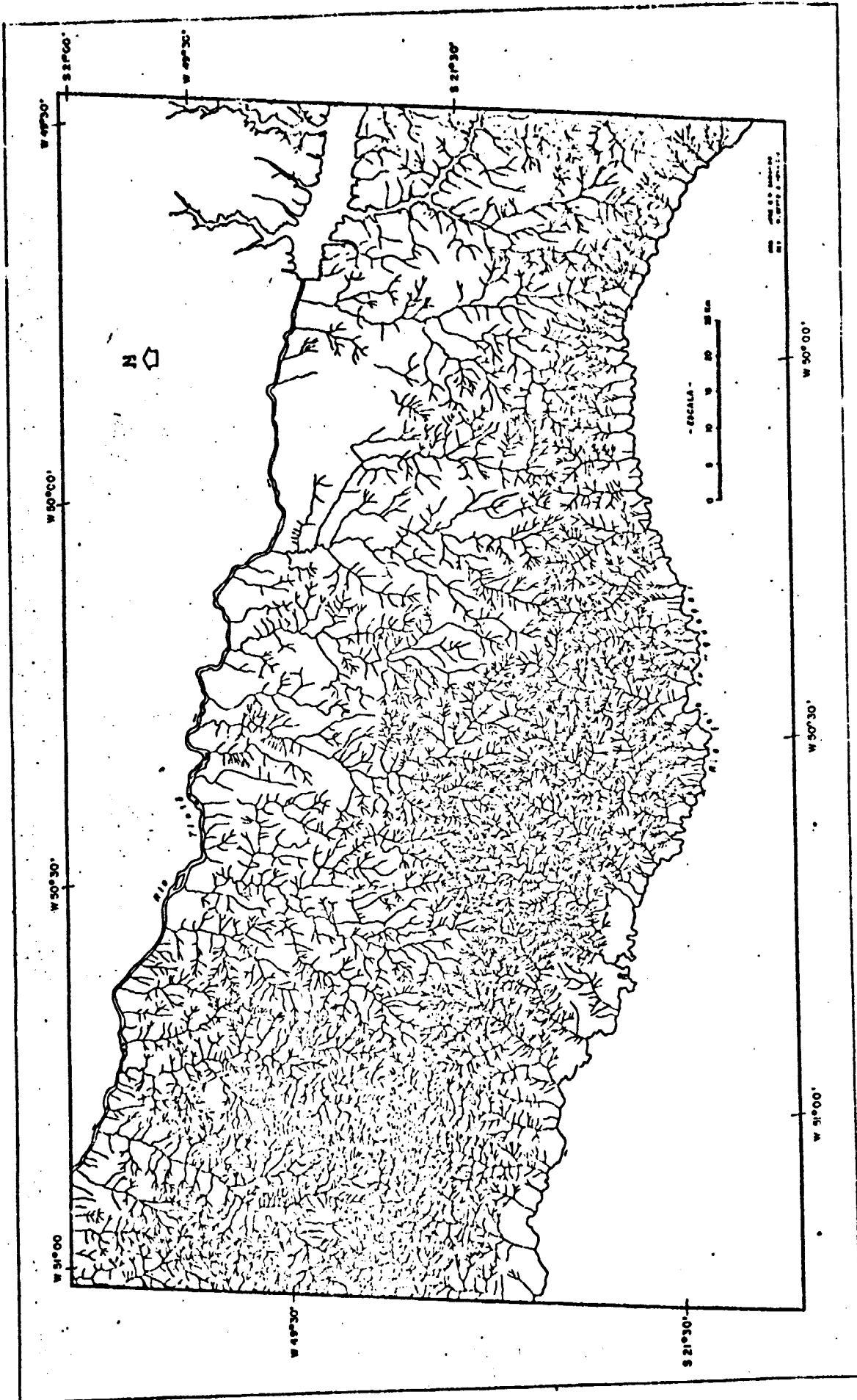


Fig. 3.2 - Drenagem levantada a partir dos canais 5 e 7 das imagens LANDSAT.

### 3.2.2 - LEVANTAMENTO DA REDE HIDROGRÁFICA NAS CARTAS TOPOGRÁFICAS

O levantamento da rede de drenagem nas cartas topográficas para efeito de comparação foi bem mais simples. Utilizando-se papel "ultraphan" transparente superposto à carta topográfica, delinearam-se, com a maior precisão possível, todos os canais que apareciam na carta. Ressalta-se que alguns canais fluviais, apesar de não existirem nas cartas topográficas, foram acrescentados, pois a maior aproximação das curvas de nível que formam reentrâncias leva a esta interpretação (Figura 3.3).

### 3.2.3 - DELIMITAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Após o levantamento da rede hidrográfica nas imagens e nas cartas topográficas, selecionaram-se 10 (dez) bacias hidrográficas, pois esse número foi considerado razoável para os propósitos que se almejam atingir com esta pesquisa. Essas bacias foram selecionadas em função de:

- a) De modo geral pode-se classificar a totalidade das bacias nesse trecho como apresentando um padrão dendrítico; desse modo, qualquer bacia escolhida seria representativa dessa área.
- b) Disponibilidade das cartas topográficas na escala de 1:50.000, pois muitas cartas nessa área são consideradas de Segurança Nacional, o que torna difícil sua aquisição.

Nas imagens LANDSAT delimitaram-se as bacias usando-se o bom senso e procurando-se traçar o perímetro delas da maneira mais adequada possível (Figura 3.4).

Já nas cartas topográficas, pôde-se utilizar o critério das cotas altimétricas, procurando-se traçar seus limites nas áreas de cotas mais elevadas que correspondem, no terreno, aos divisores d'água das bacias hidrográficas (Figuras 3.5 e 3.6).

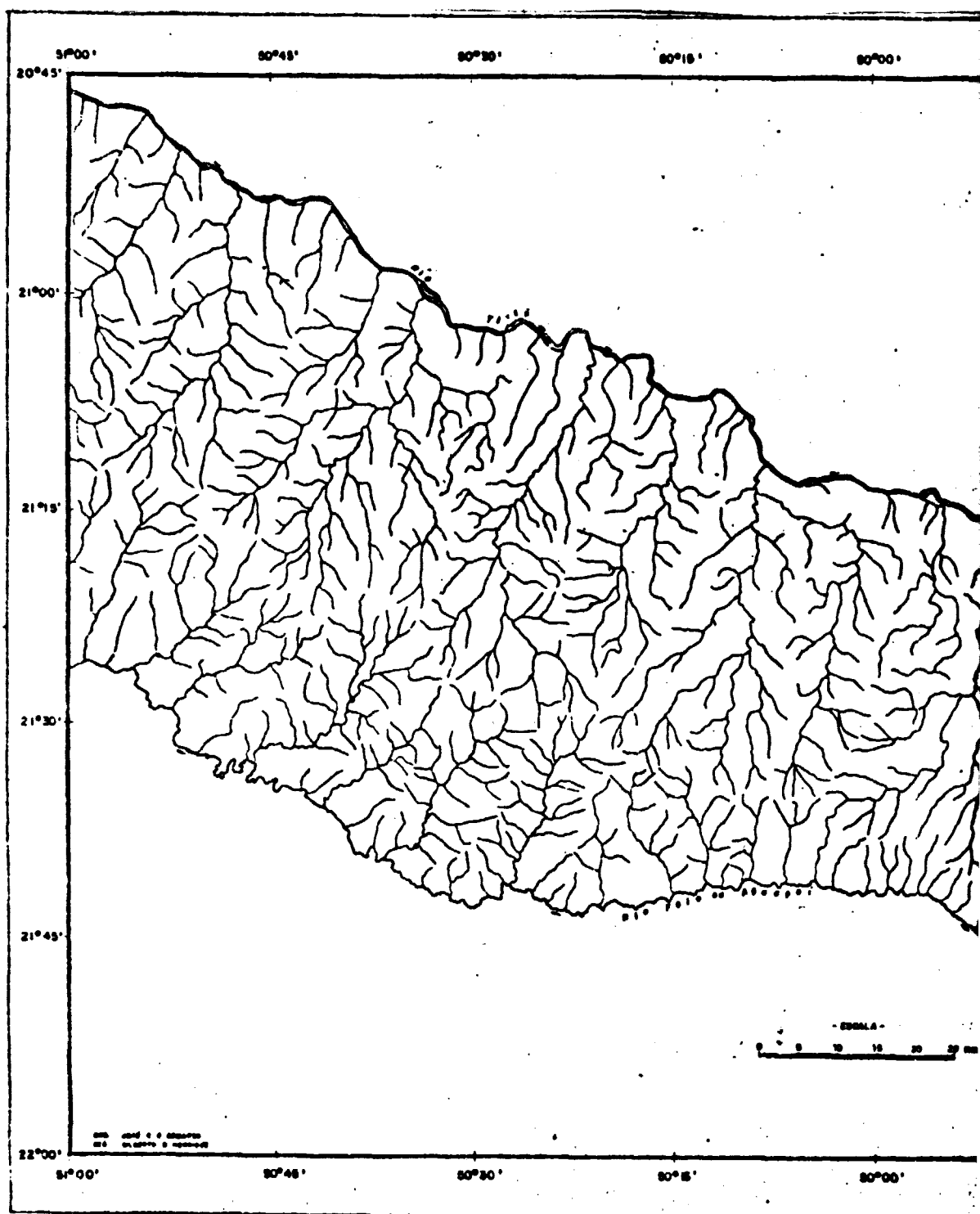
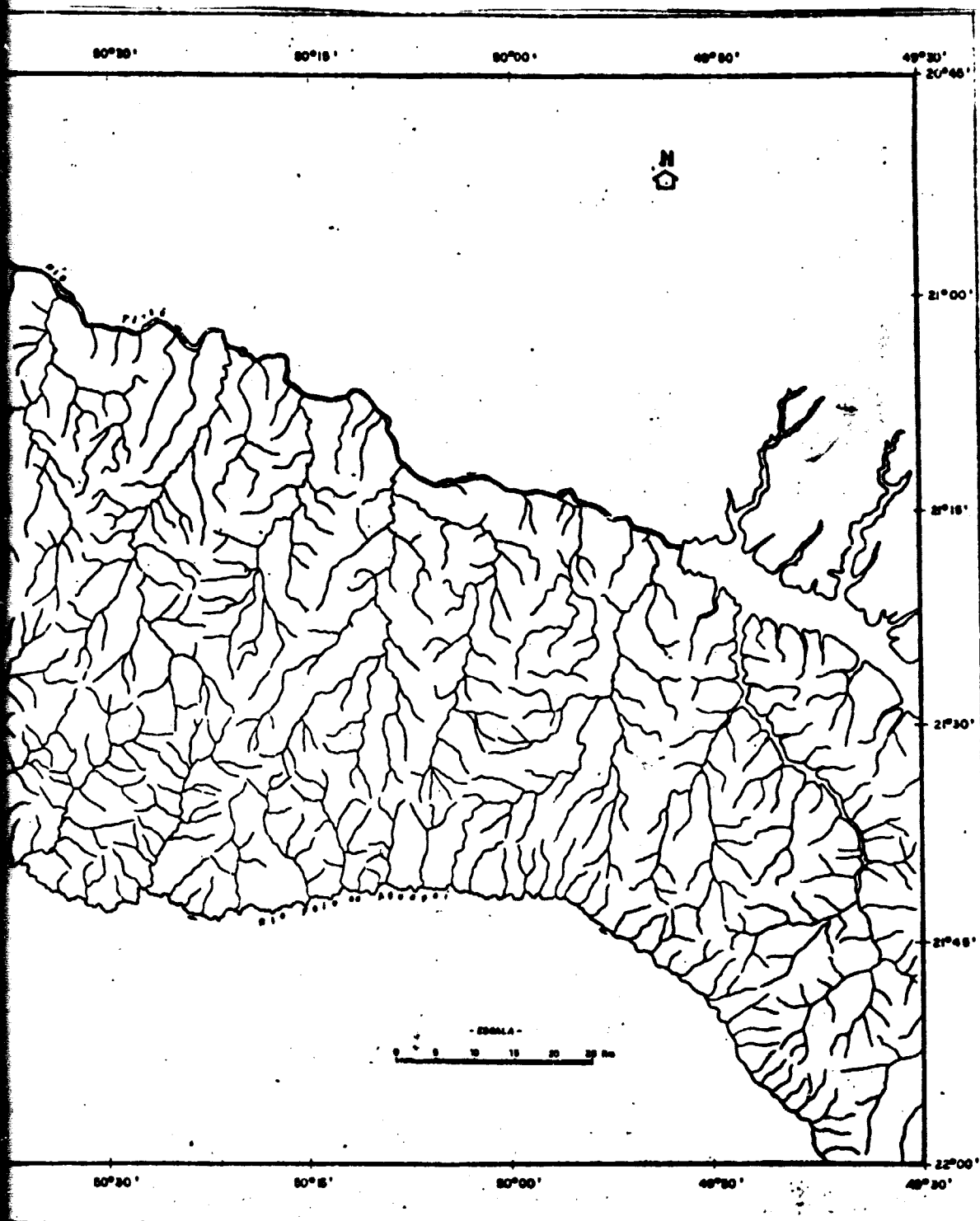


Fig. 3.3 - Drenagem levantada a partir das cartas topográficas na escala de 1:250.000.



atada a partir das cartas topográficas na  
10.000.

2 FOLDOUT FRAME



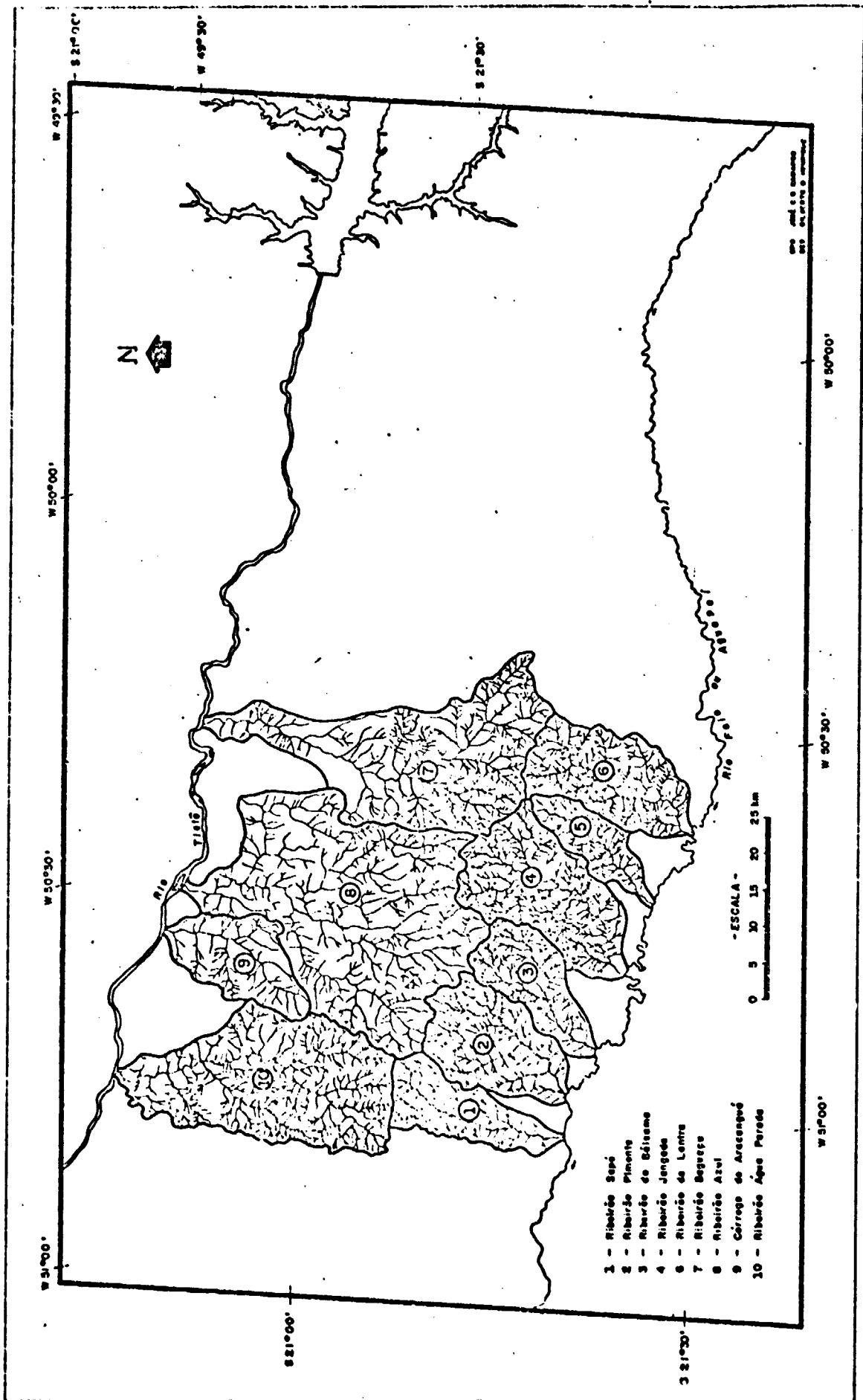


Fig. 3.4 - Bacias hidrográficas selecionadas na imagem LANDSAT (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

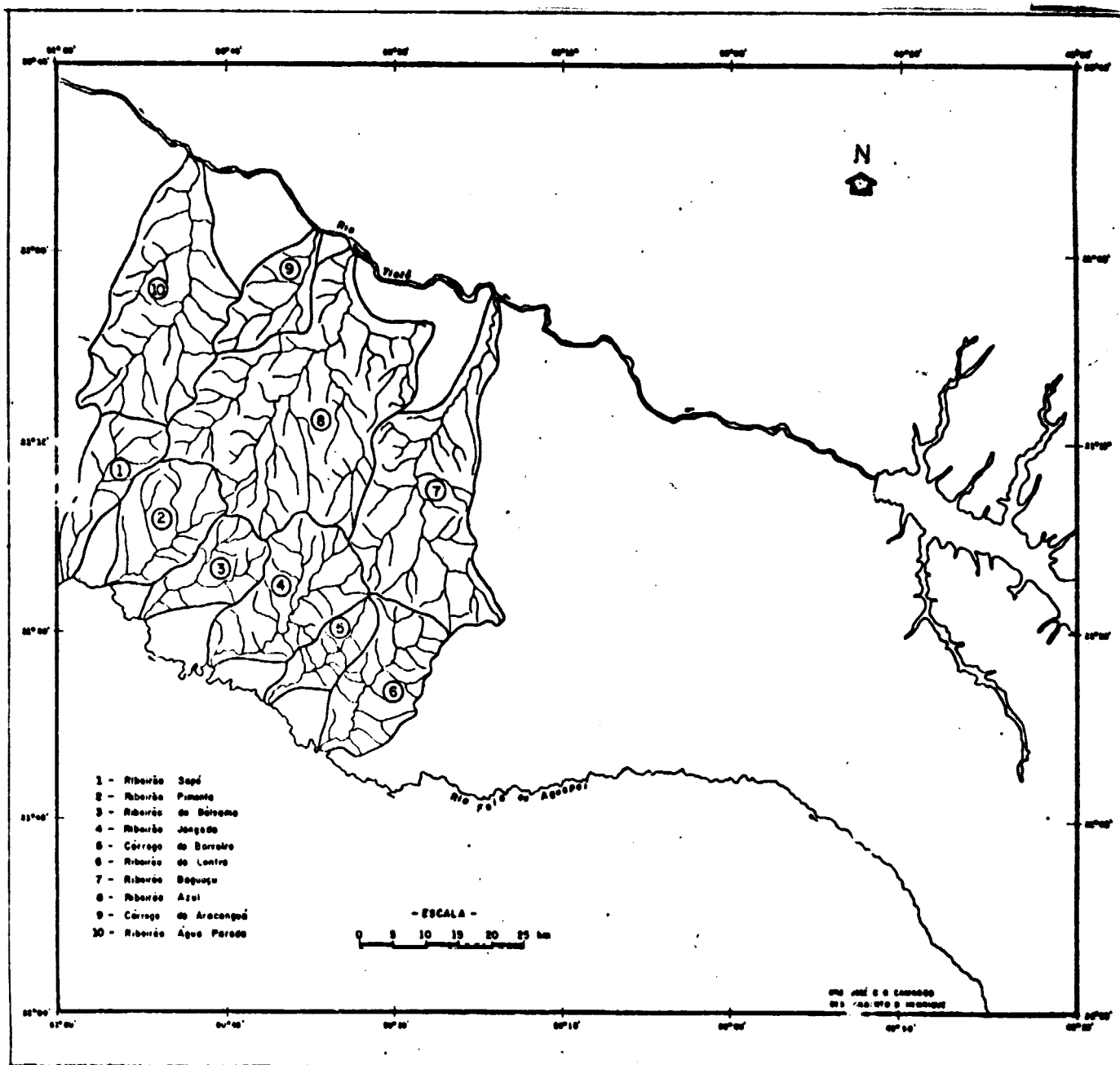


Fig. 3.5 - Bacias hidrográficas selecionadas nas cartas topográficas (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

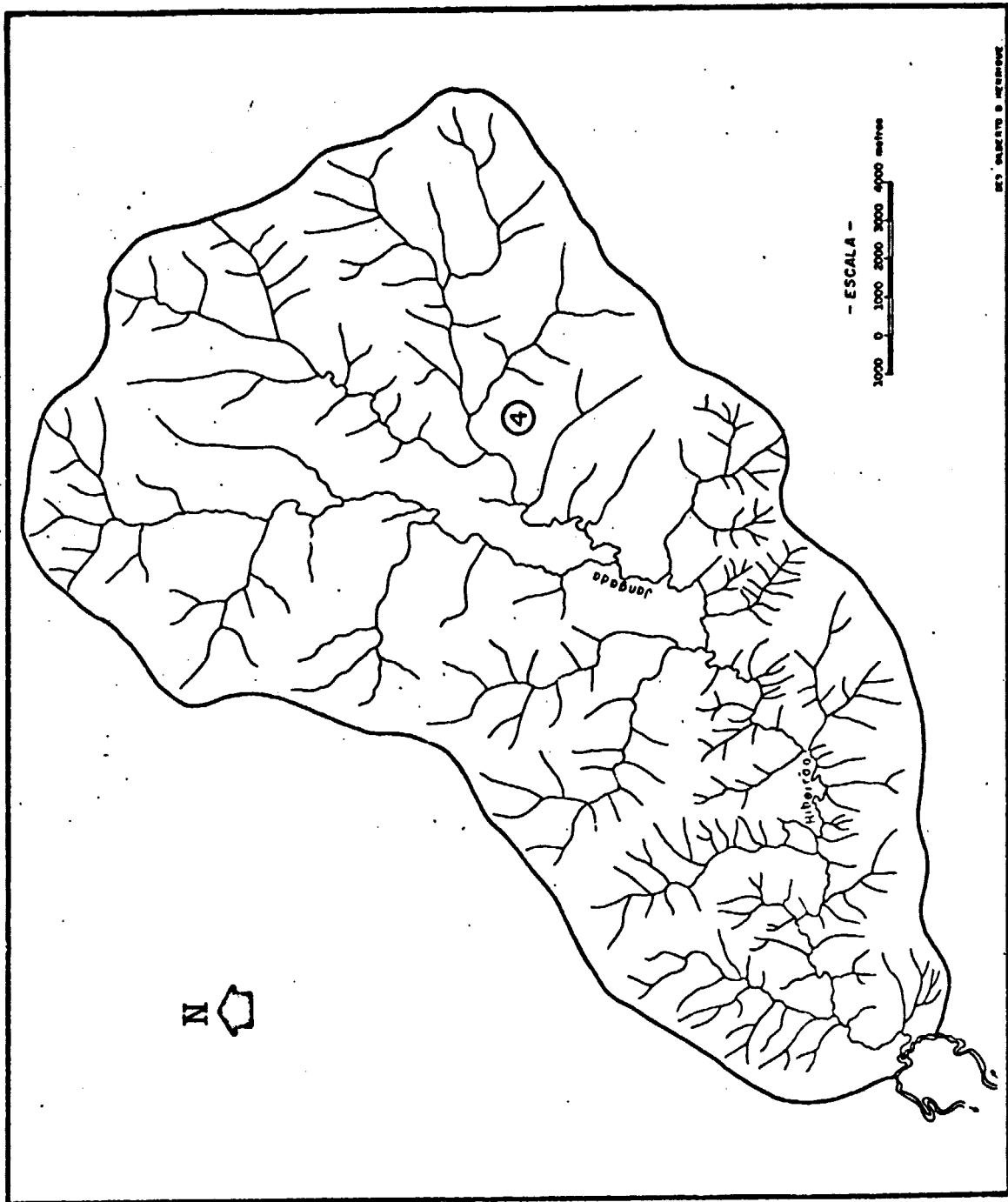


Fig. 3.6 - Exemplo de uma bacia levantada a partir das Cartas topográficas  
na escala de 1:50.000.

Relacionam-se abaixo as 10 (dez) bacias hidrográficas se-  
leccionadas, sendo seis afluentes da margem direita do rio Aguapeí (ou  
Feio) e quatro afluentes da margem esquerda do rio Tietê. São elas:

a) Afluentes da margem direita do rio Aguapeí (ou Feio)

- 1) Ribeirão Sapê;
- 2) Ribeirão Pimenta;
- 3) Ribeirão Bãlsamo;
- 4) Ribeirão da Jangada;
- 5) Córrego do Barreiro;
- 6) Ribeirão da Lontra.

b) Afluentes da margem esquerda do rio Tietê

- 7) Ribeirão Baguaçu;
- 8) Ribeirão Azul;
- 9) Córrego do Aracanguã;
- 10) Ribeirão Água Parada.

Nessas dez bacias hidrográficas seleccionadas fez-se uma sê-  
rie de medidas baseadas em parâmetros e índices morfométricos, ressal-  
tando-se que essa etapa foi bastante trabalhosa e demorada, pois os cál-  
culos exigem muito cuidado e atenção, bem como frequentes revisões.

3.2.3 - VARIÁVEIS E PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS UTILIZADOS

a) Variáveis morfométricas

A análise morfométrica de bacias hidrográficas foi desen-  
volvida com o objetivo de substituir as análises qualitativas, que eram  
sempre subjetivas e estavam intimamente associadas a interpretações pes-  
soais.

A análise quantitativa possibilitou maior desenvolvimento da ciência geomorfológica, e as leis e enunciados surgidos puderam ser facilmente entendidos por pesquisadores de outras áreas.

Essa concepção metodológica, baseada em Horton e seus discípulos, foi desenvolvida com o intuito de melhor compreender e estudar a evolução e a estrutura das bacias hidrográficas; é conhecida na literatura geomorfológica como Modelo Hortoniano.

Com o desenvolvimento dos estudos quantitativos de bacias hidrográficas, apareceu um grande número de índices e parâmetros, que auxiliam na compreensão e descrição das redes hidrográficas, bem como fornecem elementos numéricos para comparação.

Esses índices podem ser agrupados em três grandes classes que são:

- a) Análise areal de bacias hidrográficas.
- b) Análise linear de bacias hidrográficas.
- c) Análise altitudinal de bacias hidrográficas.

Esclarece-se que, neste trabalho, não houve preocupação em levantar todos os índices existentes. Apenas selecionaram-se alguns dos mais utilizados, considerados mais interessantes, e calcularam-se esses índices escolhidos para os três tipos de documentos utilizados, procurando-se verificar os resultados que se obteriam.

Ressalta-se também que não se incluiu nenhum índice altimétrico, pois as imagens do satélite LANDSAT não permitem esse tipo de levantamento, isto é, não é possível estudar altimetria através das imagens.

As variáveis morfométricas escolhidas são:

### 1) Índice de Circularidade (Ic)

De acordo com os fundamentos teóricos, quanto mais arredondada for a forma de uma bacia hidrográfica, melhor ela é estruturada e o escoamento das águas é mais organizado dentro desse sistema. Uma bacia bem estruturada reflete a idéia de que existe um certo equilíbrio entre as variáveis do sistema, podendo-se deduzir que deve haver certa estabilidade da área.

O índice de circularidade é também muito útil para a predição de certas características hidrológicas da bacia hidrográfica.

O índice de circularidade foi proposto por Miller (1953) e divulgado por Christofolletti (1969) e relaciona a área da bacia hidrográfica com a área de um círculo que possua circunferência igual ao comprimento do perímetro da bacia. É expresso pela seguinte fórmula:

$$Ic = \frac{A}{Ac} \quad (3.1)$$

onde:

Ic = Índice de circularidade.

A = Área da bacia.

Ac = Área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada.

Segundo Morisawa (1957), o índice de circularidade procura comparar a forma da bacia em relação à de um círculo, considerado como a melhor expansão areal correlacionado com o escoamento fluvial. O maior valor será  $Ic = 1,0$ ; nesse caso a área da bacia corresponderia exatamente à do círculo de igual perímetro.

## 2) Densidade de Rios (Dr)

O conceito de frequência de rios ("stream frequency") foi primeiramente proposto por Horton (1945), e considerava a quantidade de cursos d'água ou canais em relação à área da bacia. Segundo Horton, o número de rios é entendido como a soma total de todas as parcelas concernentes aos números de segmentos encontrados em cada ordem. Mas Christofolletti (1969) faz algumas restrições à maneira de calcular o número total de rios, mostrando que os cursos d'água de uma bacia hidrográfica são diferentes da soma total dos segmentos das várias ordens. O autor também mostra que há uma certa confusão entre o conceito de frequência de rios e o de densidade de segmentos da bacia; propõe, então, o termo *densidade de rios*, que relaciona o número de segmentos de canais de primeira ordem (magnitude da bacia) com a área da respectiva bacia (Christofolletti, 1978). A fórmula é a seguinte:

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (3.2)$$

onde:

Dr = Densidade de rios.

N = Número de segmentos ou canais de 1.<sup>a</sup> ordem.

A = Área da bacia.

Segundo o autor esse índice é muito importante, pois representa o comportamento hidrogeológico de determinada área.

## 3) Densidade de Drenagem (Dd)

Foi primeiramente definido por Horton (1945) e empregado por Freitas (1952). Ver também Christofolletti (1969). Esse índice morfo métrico correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica considerada. É expresso pela seguinte fórmula:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (3.3)$$

onde:

L = Comprimento total dos rios ou canais.

A = Área da bacia considerada.

Para efeito de cálculo considera-se o comprimento dos canais dentro de cada ordem; o comprimento total é, então, a soma dos comprimentos de cada ordem.

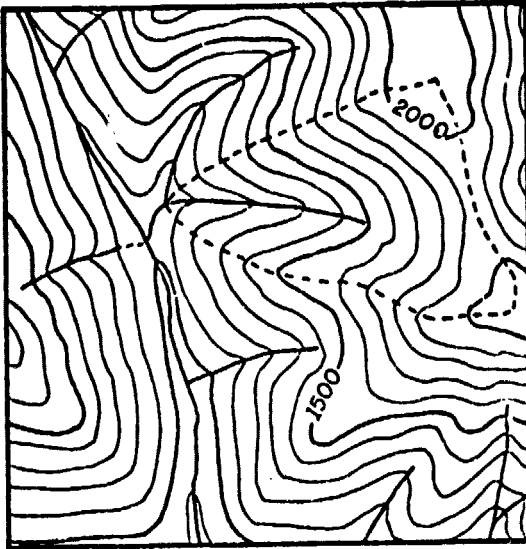
A densidade de drenagem (Dd) juntamente com a densidade de rios (Dr) são índices que mostram o grau de dissecação de uma determinada área (Figura 3.7).

Strahler (1964) mostra que Melton (1958) estudou detalhadamente as relações entre a densidade da drenagem e a frequência de rios, ambas importantes para a compreensão da textura da topografia; entretanto, cada índice trata de aspectos distintos. Assim sendo, mostra que é possível construir duas bacias hidrográficas hipotéticas que apresentam a mesma densidade de drenagem, mas diferentes frequência de rios; também é possível construir duas bacias hipotéticas que apresentam a mesma frequência de rios, mas diferentes densidades de drenagem (Figura 3.8).

O clima exerce uma influência muito importante, pois é o responsável pela descarga (quantidade de precipitação) que vai alimentar os canais hidrográficos; age indiretamente refletindo na vegetação, que, por sua vez, exerce controle sobre a erosão do solo. As características físicas da área, através do material rochoso e dos tipos de solos, são também importantes, pois determinam os diferentes graus de resistência perante as forças erosivas.



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



A - Baixa densidade de drenagem  
ou textura grosseira.



B - Média densidade de drenagem  
ou textura média.



C - Alta densidade de drenagem  
ou textura fina.



D - Densidade extremamente alta  
ou textura ultrafina.

Fig. 3.7 - Exemplos de densidade da drenagem e textura da topografia.  
FONTE: Strahler (1960).

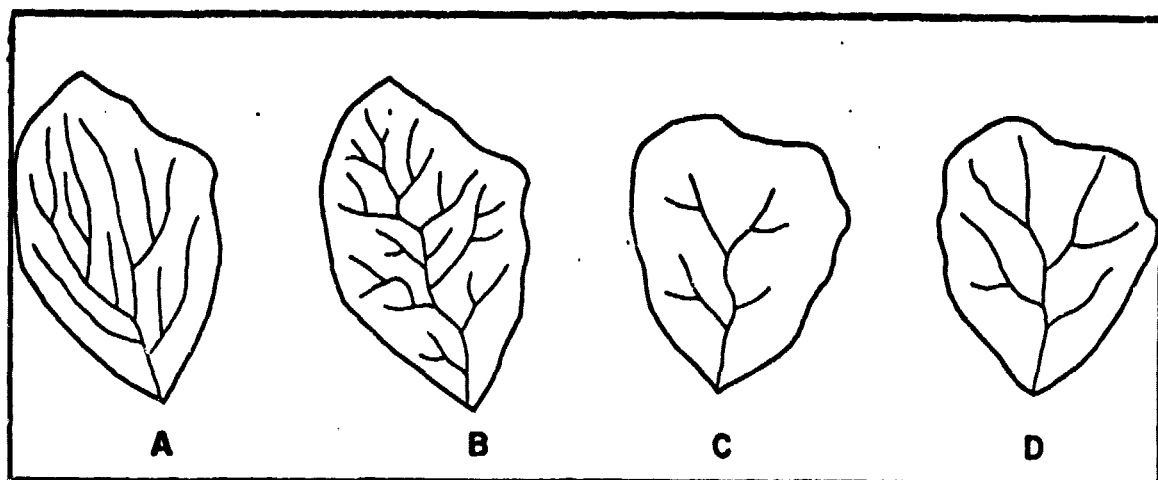


Fig. 3.8 - Bacias hipotéticas (A) e (B) com a mesma densidade de drenagem mas diferentes frequências de rios; bacias (C) e (D) com a mesma frequência de rios mas diferentes densidades de drenagem.

FONTE: Strahler (1964).

Segundo Christofolletti (1979), na natureza dinâmica da bacia hidrográfica a densidade da drenagem possui funções distintas: a) é a resposta aos controles exercidos pelo clima, vegetação, litologia e outras características da área drenada; b) é fator que influencia o escoamento e o transporte sedimentar na bacia de drenagem. Nesse mesmo trabalho o autor mostra que, como a densidade da drenagem reflete dependência das condições climáticas e de outros controles existentes na bacia, pode servir de base para a classificação de bacias de drenagem e caracterização de regiões físicas.

Morisawa (1968) mostra que, geralmente, bacias hidrográficas em áreas argilosas e cascalhentas apresentam alta densidade de drenagem e frequência de rios, enquanto bacias hidrográficas em áreas areníticas possuem baixa densidade de drenagem e frequência de rios.

A densidade de drenagem é facilmente calculada, apresenta diferentes valores na natureza e reflete a complexidade de fatores que controlam o escoamento superficial.

#### 4) Textura da Topografia (Tt)

Foi apresentado primeiramente por Smith (1950) e empregado por Freitas (1952). Ver também Christofolletti (1969) e França (1968). Freitas, baseando-se em Smith, utiliza os dados de densidade de drenagem para o cálculo da textura topográfica, o qual tem por finalidade representar o grau de entalhamento e dissecação da superfície terrestre. É expresso pela seguinte fórmula:

$$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd, \quad (3.4)$$

onde:

Tt = Textura da topografia.

Dd = Densidade da drenagem.

Smith (1950) procurou estabelecer certos parâmetros para a textura topográfica a fim de obter padrões interpretativos para os valores obtidos. França (1968) adaptou esses parâmetros expressos em milhas ao sistema métrico e transformou o perímetro em km, conforme a Tabela 3.1.

TABELA 3.1

#### TEXTURA TOPOGRÁFICA

| CLASSE DE TEXTURA<br>TOPOGRÁFICA | RAZÃO DA TEXTURA MÉDIA          |                             |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|                                  | PERÍMETRO EXPRESSO<br>EM MILHAS | PERÍMETRO EXPRESSO<br>EM km |
| Grosseira                        | abaixo de 2,5                   | abaixo de 4,0               |
| Média                            | entre 2,5 e 6,2                 | entre 4,0 e 10,0            |
| Fina                             | acima de 6,2                    | acima de 10,0               |

Freitas (1952) mostra que "A textura da topografia depende de vários fatores que atuam na drenagem. Classificam-se estes em duas classes: 1) fatores naturais, que compreendem o clima, a vegetação, a natureza da rocha ou solo, a intensidade das chuvas, a capacidade de infiltração e o estágio do perfil longitudinal do rio; 2) fatores acidentais, que abrangem o grau de perfeição do mapeamento e o valor da escala empregada. Em geral, as rochas pouco resistentes, solos desprotegidos pela vegetação, produzem texturas finas, isto é, quando as curvas de nível se acham cerradas, representando um relevo mais acentuado. Ao contrário, rochas resistentes causam uma textura grosseira, caracterizada pelo espaçamento das curvas de nível e pela rarefação das linhas de drenagem (Figura 3.7). Entretanto, a dependência de tais fatores de controle é local e não regional. Aplicando-se este critério para largas áreas, a textura da topografia pode indicar, em termos quantitativos, o estágio do processo erosivo: juventude, maturidade ou senilidade, pois a peneplanição se efetua através dos estágios do ciclo de osção, independentemente da natureza da rocha ou de outras particularidades estruturais, havendo tão somente retardamento de ciclo nas rochas duras e áreas cobertas de vegetação, e aceleração nas rochas moles, nos solos desnudos e nas regiões de alta pluviosidade. Eis, pois, a razão porque a textura da topografia, para exprimir o estágio do ciclo de erosão, precisa abranger um quadro regional, e não local, onde estes fatores controlam localmente o processo".

Christofolletti (1969) comenta essa afirmação mostrando que, sem se preocupar com a concepção davisiana de evolução do relevo, mas procurando compreender os aspectos diretamente ligados à morfometria, considera o clima principal fator responsável pelo entalhamento das paisagens, pois é ele que fornece a massa líquida necessária à esculturação e à estruturação da rede de drenagem.

### 5) Índice entre o Comprimento e a Área da Bacia (ICo)

A caracterização da forma das bacias hidrográficas é um assunto ainda bastante discutido na literatura geomorfológica, sendo uma das variáveis mais difíceis de ser medida de maneira precisa e acurada.

"A bacia hidrográfica representa a área drenada pela rede de canais, podendo ser influenciada por diversas características, tais como litologia, topografia e tectônica, que exercem controle sobre a eficiência dos processos atuantes na bacia. Esses fatores e processos incidem no desenvolvimento e expansão da rede de canais, que se organizam para escoar o input fornecido pelas condições ambientais sobre uma determinada área. A forma das bacias encontra-se condicionada, em grande parte, pela concorrência expansionista de redes adjacentes. Essa expansão ocorre até que a rede atinja o seu tamanho ótimo, alcançando o equilíbrio em função das condições ambientais, e que o escoamento de todo e qualquer ponto da área separe um determinado canal de uma bacia de drenagem" (Christofolletti e Perez Filho, 1975).

Inúmeros procedimentos têm sido propostos para descrever a forma das bacias hidrográficas segundo o aspecto quantitativo. Escolheu-se um índice proposto por Christofolletti e Perez Filho (1975), denominado Índice entre o comprimento e a área da bacia (ICo), o qual é obtido dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área. A fórmula é a seguinte:

$$IC_o = \frac{Db}{\sqrt{A}}, \quad (3.5)$$

onde:

ICo = Índice entre o comprimento e a área.

Db = Diâmetro da bacia.

A = Área da bacia.

Ressalta-se que o diâmetro da bacia empregado nessa fórmula é o diâmetro geométrico, que é a medida que vai da foz ao ponto mais distante da bacia. Segundo os autores, esse índice dá informações para se descrever e interpretar a forma e o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica. Assim, quando o valor do ICo for próximo à unidade, a bacia terá uma forma semelhante a um quadrado, e quando os valores forem menores que a unidade, a bacia terá forma alargada; quanto maior for o valor acima da unidade, mais alongada será a forma da bacia.

#### 6) Área da Bacia (A)

A área abrangida por uma bacia hidrográfica é elemento importante para o estudo quantitativo das bacias hidrográficas. Além disso, ela é elemento indispensável para calcular outros parâmetros, tais como a densidade da drenagem, índice de forma, etc.

A área da bacia é hidrologicamente importante por ser afetada diretamente pela quantidade de precipitação e por influenciar a quantidade de água que vai ser escoada através da bacia.

Chorley (1969) mostra que o máximo de descarga por unidade de área é inversamente relacionada com o tamanho da área, porque as tempestades mais fortes caem frequentemente em áreas menores, isto é, concentram-se em pequenas áreas. Desse modo, existe uma relação entre a área da bacia e a sua descarga.

O cálculo das áreas foi feito através do método da pesagem. Nesse método desenha-se o contorno das bacias em papel vegetal, recortam-se essas e pesam-se elas em uma balança de precisão. Em seguida o peso do papel vegetal obtido é comparado com um peso padrão de uma área já conhecida e, através de uma regra de três simples, calcula-se a área da bacia desejada.

### 7) Perímetro (P)

O perímetro é também um dado significativo, pois entra no cálculo de outros parâmetros quantitativos. Para determinar o perímetro das bacias hidrográficas analisadas, usa-se o curvímeter, fazendo-o percorrer, com a maior fidelidade possível, o contorno das bacias hidrográficas, anteriormente transferidas para o papel vegetal.

### 8) Comprimento dos Rios e Canais (L)

As medidas de área e de comprimento são as mais empregadas, em função da maior facilidade de obtê-las e também da possibilidade de fazer essas medidas sobre cartas, mapas, fotografias aéreas e, atualmente, imagens orbitais.

Nas medidas de comprimento usa-se o curvímeter, fazendo-o percorrer, com a máxima fidelidade possível, todas as sinuosidades dos canais fluviais, que nunca são linhas retas mas, na maioria das vezes, bastante flexionadas.

Em cada bacia mede-se o comprimento do rio principal; considera-se rio principal aquele canal que apresentou o maior diâmetro topológico e a maior ordem dentro da bacia.

Além do comprimento do rio principal, calcula-se o comprimento médio dos canais de primeira ordem, o comprimento médio dos canais de segunda ordem e o comprimento total dos canais em cada ordem. Para calcular o comprimento médio dos canais, divide-se a soma dos comprimentos dos canais em cada ordem pelo número de canais encontrados na respectiva ordem.

## b) Variáveis topológicas

A análise topológica de redes fluviais está relacionada com a maneira pela qual os vários canais se encontram conectados, procurando-se encontrar seus esquemas de ordenação.

Horton (1945) foi o primeiro a fazer medidas topológicas; procurou classificar as bacias hidrográficas baseando-se principalmente no número de canais e no seu comprimento. Muitos pesquisadores se interessaram por esse ramo de atividade, aumentando consideravelmente o conhecimento topológico sobre redes fluviais. Shreve (1966) notou, em suas pesquisas, que muitas redes hidrográficas analisadas não se comportavam rigorosamente conforme a lei do número de canais (de Horton) e procurou mostrar que populações de redes de canais naturais, desenvolvidos na ausência de controle geológico, são topologicamente aleatórias.

A análise topológica de redes fluviais é ainda um assunto que está em desenvolvimento, com grande número de pesquisas em andamento; contudo, os resultados dessas pesquisas ainda são bastante discutíveis e os dados, de modo geral, são escassos.

O objetivo deste trabalho resume-se em calcular algumas das variáveis dos três tipos de documento utilizados e verificar os resultados. Não se fará nenhuma análise profunda dessas variáveis, mas apenas alguns comentários.

As variáveis topológicas escolhidas são:

### 1) Ordem ( $\Omega$ )

A ordem de uma bacia hidrográfica diz respeito à sua hierarquização, isto é, como estão organizados seus respectivos elementos (canais). A ordem das bacias hidrográficas foi primeiramente proposta por Horton (1945), sendo depois modificada por Strahler (1952) e divulgada no Brasil por Christofletti (1969).



Horton (1945) preocupou-se com a ordenação dos canais para ter um método objetivo de subdividir as bacias hidrográficas. Baseado na hierarquia dos canais, Horton conseguiu formular as "Leis da Composição da Drenagem", as quais relacionam o número de canais, o seu comprimento e a altimetria em relação à ordem dessas bacias. O sistema de ordenação proposto por Strahler (1952) apresenta uma certa vantagem em relação aos outros critérios, por ser bastante objetivo em sua aplicação e completamente hierarquizado.

Neste trabalho adotou-se o critério elaborado por Strahler, onde "os canais sem tributários são considerados de primeira ordem, estendendo-se da nascente à confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem e podem receber afluentes de segunda e de primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem e podem receber tributários das ordens inferiores, e assim sucessivamente" (Christofolletti, 1969), (Figura 3.9):

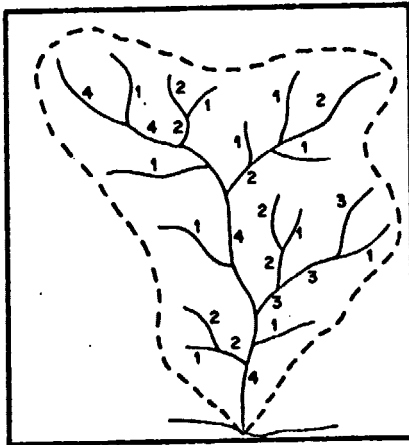
## 2) Magnitude (M)

O conceito de magnitude foi primeiramente proposto por Shreve (1966, 1967) e divulgado no Brasil por Christofolletti (1973). Entende-se por magnitude de uma bacia hidrográfica o número de canais de primeira ordem ou de nascentes que lhe é tributário. Assim, a magnitude de uma bacia hidrográfica é igual ao número de canais de primeira ordem.

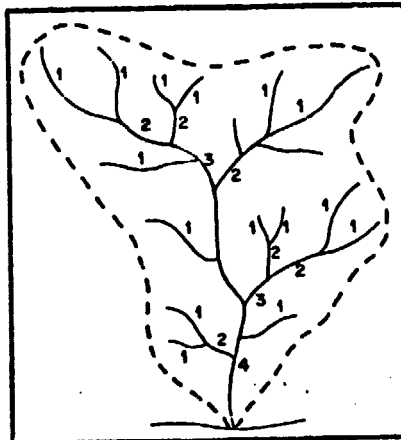
## 3) Relação de Bifurcação ( $R_b$ ) e Relação Ponderada de Bifurcação ( $R_{pb}$ )

A relação de bifurcação, que é uma relação entre o número total de canais de uma determinada ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior, foi primeiramente elaborado por Horton (1945) e divulgado por Christofolletti (1969). A relação de bifurcação é expressa pela fórmula:

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



A - Ordenação segundo Horton.



B - Ordenação segundo Strahler.

| ORDEM | HORTON | STRAHLER |
|-------|--------|----------|
| 1ª    | 11     | 17       |
| 2ª    | 4      | 6        |
| 3ª    | 1      | 2        |
| 4ª    | 1      | 1        |

TOTAL DE RIOS DA BACIA = 17

Fig. 3.9 - Ordenação de canais e quantidade de rios em uma bacia hidrográfica.

FONTE: Christofolletti (1973).

$$R_b = \frac{N_w}{N_{w+1}} \quad (3.6)$$

onde:

$N_w$  = Número total de canais de determinada ordem.

$N_{w+1}$  = Número total de canais de ordem imediatamente superior.

Segundo Strahler (1964), a relação de bifurcação não necessita ser exatamente a mesma, de uma ordem para a outra, por causa da probabilidade da variação na geometria da bacia, mas tende a ser uma constante através da série.

Essa observação serviu de base para que Horton enunciasse uma das leis da composição da drenagem, denominada lei do número de canais, a qual mostra que, aumentando a ordem, diminui o número de canais em relação a elas.

Segundo a literatura, existe um acúmulo muito grande de dados sobre esse aspecto, em função da verificação dessa lei nas mais diferentes localidades, que mostra que a relação de bifurcação varia aproximadamente entre os valores de 3,0 a 5,0 em bacias hidrográficas isentas de controle geológico. O menor valor teórico possível para  $R_b$  é 2,0, mas esse valor é raramente encontrado na natureza.

A Figura 3.10 mostra algumas bacias hipotéticas que apresentam taxas médias e elevadas de relação de bifurcação; observando-se a figura vê-se que uma bacia alongada (A), com alto índice de  $R_b$ , apresenta um fluxo baixo e contínuo (cheias), enquanto uma bacia de forma arredondada (C), com baixo índice de  $R_b$ , mostra um grande pico de escoamento (cheias rápidas e violentas). A bacia (B) possui valores intermediãrios.

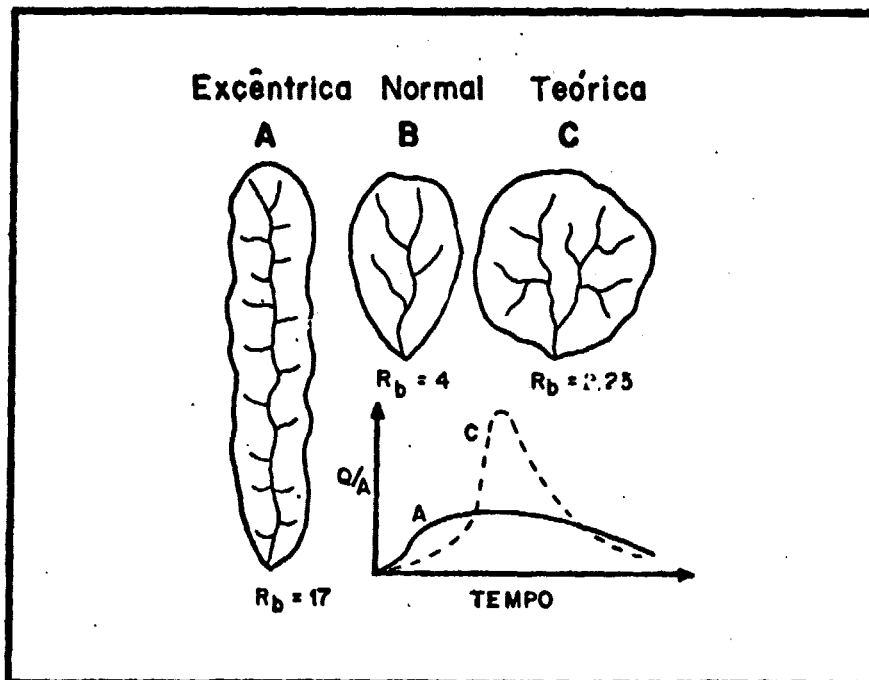


Fig. 3.10 - Bacias hipotéticas demonstrativas de relações de bifurcação extremas e moderadas.

FONTE: Strahler (1964).

A relação ponderada de bifurcação foi proposta por Strahler (1952), para poder encontrar um índice de bifurcação mais representativo. Christofolletti (1969) cita o processo de calcular a relação ponderada de bifurcação exposto por Schum (1956) "em determinada bacia, multiplica-se a relação de bifurcação de cada conjunto de duas ordens sucessivas pelo número total de canais envolvidos nessa relação. Após efetuar a multiplicação das várias ordens, divide-se a soma total dos produtos obtidos pela soma total de canais encontrados na bacia. O valor médio encontrado será a Relação Ponderada de Bifurcação".

#### 4) Número de Segmentos (total e de cada ordem)

A denominação de segmento fluvial foi divulgada no Brasil por Christofolletti (1973) como sendo o trecho do rio ou canal ao longo do qual a ordem (segundo Strahler) que lhe é associada permanece constante.

### 5) Número Total de Ligamentos (exteriores e interiores)

O conceito de ligamento foi introduzido por Shreve (1966) e divulgado por Christofolletti (1973) como sendo "trechos de/ou segmentos que não recebem afluentes, estendendo-se entre uma fonte e a primeira confluência, a jusante, entre duas junções consecutivas, ou entre a desembocadura e a primeira junção, a montante. Os ligamentos podem ser classificados em exteriores e interiores, conforme possuam ou não uma nascente em sua parte final, a montante".

### 6) Comprimento da Trajetória (T)

O conceito de trajetória, para a classificação topológica de redes fluviais, foi apresentada por Werner and Smart (1973) e divulgada no Brasil por Christofolletti (1973). Segundo os autores, o comprimento da trajetória é a quantidade de ligamentos atravessados na conexão entre uma fonte ou junção e a desembocadura. As trajetórias podem ainda ser subdivididas em trajetórias interiores e exteriores, conforme apresentem uma junção ou uma nascente em seu final, a montante. Utilizando-se desse critério para a classificação de redes de drenagem, uma rede qualquer seria topologicamente caracterizada por uma sequência numérica, onde cada número representa a frequência das trajetórias de determinado comprimento. Para evitar maiores complicações de cálculos, considera-se apenas o comprimento total das trajetórias.

Segundo Werner and Smart (1973), o comprimento total da trajetória é definido como a somatória dos valores das trajetórias multiplicadas pelas suas respectivas frequências.

### 7) Diâmetro Topológico (Dt)

Para Werner and Smart (1973), as bacias hidrográficas podem ser classificadas topologicamente, considerando-se apenas seu diâmetro. O diâmetro de uma bacia, do ponto de vista topológico, é definido como o maior comprimento da trajetória.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

Através da metodologia empregada, obteve-se um número muito grande de dados das variáveis selecionadas (Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3).

Como o objetivo principal deste trabalho é comparar três tipos diferentes de documentos para fazer uma análise morfométrica e topológica de bacias hidrográficas, é necessário agrupar essa quantidade enorme de dados em tabelas a fim de facilitar a sua comparação.

A seguir será apresentada e examinada cada variável, levando-se em conta os dados levantados para cada tipo de documento analisado.

#### 4.1 - VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

##### 4.1.1 - ÍNDICE DE CIRCULARIDADE ( $I_c$ )

Como já se viu anteriormente, o  $I_c$  procura comparar a forma da bacia em relação à de um círculo, considerado como a melhor expansão areal correlacionado com o escoamento fluvial. Desse modo, o maior valor encontrado para esse índice será a unidade, ou seja  $I_c = 1,0$ ; nesse caso, a área da bacia corresponderia exatamente à área do círculo de igual perímetro.

Teoricamente uma bacia de forma circular corresponderia a uma melhor forma de estruturação interna da própria bacia, fazendo com que todos os seus elementos estejam num ótimo grau de equilíbrio. Em outras palavras, isso significaria que, numa bacia em equilíbrio, o escoamento das águas se faz de uma maneira mais organizada. Quanto mais próximo da unidade for o  $I_c$ , mais bem estruturada se encontra a bacia, que apresenta uma forma mais arredondada e favorece o fluxo de escoamento, havendo maior regularidade e homogeneidade entre os elementos (canais) do sistema.

TABELA 4.1

DADOS MORFOMÉTRICOS E TOPOLÓGICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS CALCULADOS  
 ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)

| Nº | BACIA                | ÍNDICE DE CIRCULARIDADE | DENSIDADE DE RIOS<br>(CANAIS/KM²) | DENSIDADE DE DRENAGEM<br>(KM/KM²) | TEXTURA TOPOGRÁFICA | ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA | ÁREA (KM²) | PERÍMETRO (KM) | COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL (KM) | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE 1ª ORDEM (KM) | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE 2ª ORDEM (KM) | ORDENAMENTO | MAGNITUDE | RELACÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO | NÚMERO DE SEGMENTOS | NÚMERO DE LIGAMENTOS | TRAJETÓRIA | DIÂMETRO TOPOGRÁFICO |
|----|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------|----------------|-----------------------------------|---|---|-------------|-----------|---------------------------------|---------------------|----------------------|------------|----------------------|
| 01 | RIBEIRÃO SAPE        | 0,41                    | 1,00                              | 1,52                              | 2,64                | 1,71                                | 158,97     | 70,00          | 30,00                             | 0,86  | 1,15  | 5           | 160       | 3,70                            | 220                 | 319                  | 8426       | 44                   |
| 02 | RIBEIRÃO PIMENTA     | 0,59                    | 1,22                              | 1,68                              | 2,96                | 1,31                                | 266,90     | 70,00          | 27,50                             | 0,83  | 1,26  | 5           | 278       | 4,47                            | 359                 | 555                  | 15576      | 52                   |
| 03 | RIBEIRÃO BALSAO      | 0,51                    | 1,19                              | 1,63                              | 2,86                | 1,49                                | 159,03     | 62,50          | 30,00                             | 0,81  | 1,48  | 5           | 189       | 4,94                            | 242                 | 377                  | 11014      | 49                   |
| 04 | RIBEIRÃO JAUIGUÁ     | 0,49                    | 1,49                              | 1,85                              | 3,29                | 1,34                                | 299,60     | 87,50          | 40,00                             | 0,70  | 1,07  | 5           | 446       | 4,26                            | 584                 | 391                  | 30223      | 59                   |
| 05 | CÓRREGO DO BARBEIRO  | 0,43                    | 1,29                              | 1,85                              | 3,29                | 1,27                                | 104,55     | 55,00          | 25,00                             | 0,85  | 1,31  | 4           | 135       | 4,40                            | 178                 | 289                  | 5625       | 45                   |
| 06 | RIBEIRÃO DA LONTRA   | 0,57                    | 1,28                              | 1,70                              | 3,00                | 1,37                                | 238,31     | 72,50          | 32,50                             | 0,76  | 1,24  | 5           | 306       | 4,69                            | 401                 | 611                  | 17254      | 54                   |
| 07 | RIBEIRÃO BACIAÇU     | 0,38                    | 0,77                              | 1,35                              | 2,32                | 1,70                                | 550,13     | 135,00         | 62,50                             | 1,05  | 1,37  | 6           | 423       | 4,06                            | 562                 | 845                  | 35509      | 67                   |
| 08 | RIBEIRÃO AZUL        | 0,46                    | 0,47                              | 1,00                              | 1,66                | 1,22                                | 230,64     | 150,00         | 55,00                             | 1,24  | 1,98  | 6           | 394       | 4,17                            | 523                 | 707                  | 24746      | 55                   |
| 09 | CÓRREGO ARACANGUÁ    | 0,55                    | 0,48                              | 1,06                              | 1,77                | 1,46                                | 170,18     | 62,00          | 27,50                             | 1,23  | 1,85  | 4           | 81        | 4,04                            | 106                 | 161                  | 2051       | 26                   |
| 10 | RIBEIRÃO ÁGUA PARADA | 0,49                    | 0,86                              | 1,51                              | 2,63                | 1,42                                | 489,77     | 112,50         | 47,50                             | 0,93  | 1,56  | 5           | 424       | 4,18                            | 563                 | 807                  | 24695      | 52                   |

TABELA 4.2

DADOS MORFOMÉTRICOS E TOPOLÓGICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS CALCULADOS  
ATRAVÉS DA CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000)

| Nº | BACIA                | ÍNDICE DE CIRCULARIDADE | DENSIDADE DE RIOS<br>(CANALIS/KM²) | DENSIDADE DE DRENAGEM<br>(KM/KM²) | TEXTURA TOPOGRÁFICA | ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA | ÁREA (KM²) | PERÍMETRO (KM) | COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL (KM) | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE 1ª ORDEM (KM) | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE 2ª ORDEM (KM) | ORDENAMENTO | MAGNITUDE | RELACÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO | NÚMERO DE SEGMENTOS | NÚMERO DE LIGAMENTOS | TRAJETÓRIA | DIÂMETRO TOPOLÓGICO |
|----|----------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------|----------------|-----------------------------------|---|---|-------------|-----------|---------------------------------|---------------------|----------------------|------------|---------------------|
| 01 | RIBEIRÃO SAPE        | 0,44                    | 0,06                               | 0,45                              | 0,68                | 1,72                                | 159,99     | 67,50          | 30,00                             | 4,56  | 5,12  | 3           | 9         | 3,95                            | 12                  | 17                   | 87         | 8                   |
| 02 | RIBEIRÃO PIMENTA     | 0,68                    | 0,05                               | 0,42                              | 0,63                | 1,30                                | 213,11     | 62,50          | 27,50                             | 5,36  | 5,42  | 3           | 11        | 3,51                            | 15                  | 21                   | 119        | 9                   |
| 03 | RIBEIRÃO BALSAMO     | 0,56                    | 0,09                               | 0,50                              | 0,77                | 1,51                                | 149,80     | 57,50          | 25,00                             | 3,54  | 9,37  | 3           | 13        | 6,28                            | 16                  | 25                   | 149        | 9                   |
| 04 | RIBEIRÃO JANGADA     | 0,58                    | 0,07                               | 0,52                              | 0,80                | 1,35                                | 294,10     | 80,00          | 37,50                             | 4,82  | 5,45  | 3           | 21        | 4,35                            | 27                  | 40                   | 211        | 12                  |
| 05 | CORREGO DO BARBEIRO  | 0,46                    | 0,10                               | 0,54                              | 0,83                | 1,19                                | 101,83     | 52,50          | 25,00                             | 3,57  | 3,50  | 2           | 10        | 4,77                            | 13                  | 19                   | 121        | 9                   |
| 06 | RIBEIRÃO DA LONTRA   | 0,56                    | 0,09                               | 0,53                              | 0,82                | 1,37                                | 235,33     | 72,50          | 30,00                             | 3,87  | 4,20  | 3           | 21        | 4,35                            | 27                  | 40                   | 344        | 12                  |
| 07 | RIBEIRÃO BAGUAÇU     | 0,40                    | 0,07                               | 0,51                              | 0,78                | 1,81                                | 536,14     | 130,00         | 62,50                             | 4,31  | 5,87  | 4           | 36        | 3,51                            | 50                  | 71                   | 857        | 12                  |
| 08 | RIBEIRÃO AZUL        | 0,50                    | 0,07                               | 0,53                              | 0,82                | 1,22                                | 837,97     | 145,00         | 55,00                             | 4,35  | 4,12  | 4           | 61        | 4,00                            | 81                  | 121                  | 7260       | 18                  |
| 09 | CORREGO ARACANGUÁ    | 0,61                    | 0,07                               | 0,42                              | 0,63                | 1,57                                | 150,13     | 55,50          | 27,50                             | 3,22  | 5,83  | 3           | 10        | 3,04                            | 14                  | 19                   | 89         | 8                   |
| 10 | RIBEIRÃO ÁGUA PARADA | 0,60                    | 0,05                               | 0,46                              | 0,70                | 1,45                                | 502,38     | 102,50         | 50,00                             | 5,55  | 6,00  | 3           | 28        | 4,82                            | 34                  | 55                   | 561        | 8                   |



TABELA 4.3

DADOS MORFOMÉTRICOS E TOPOLÓGICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS CALCULADOS  
ATRAVÉS DA CARTA TOPOGRÁFICA NA ESCALA DE 1:50.000

| Nº | BACIA                | ÍNDICE DE CIRCULARIDADE | DENSIDADE DE RIOS<br>(CANAIS/KM²) | DENSIDADE DE DRENAGEM<br>(KM/KM²) | TEXTURA TOPOGRÁFICA | ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA | ÁREA (KM²) | PERÍMETRO (KM) | COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL (KM) | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CA-<br>NAIS DE 1ª ORDEM (KM) | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CA-<br>NAIS DE 2ª ORDEM (KM) | ORDEN | ALTITUDE | RELAÇÃO PONDERADA DE RI-<br>FURCAÇÃO | NÚMERO DE SEGMENTOS | NÚMERO DE LIGAMENTOS | TRAJETÓRIA | DÍAMETRO TOPOLÓGICO |
|----|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------|----------------|-----------------------------------|--|--|-------|----------|--------------------------------------|---------------------|----------------------|------------|---------------------|
| 01 | RIBEIRÃO SAPE        | 0,42                    | 0,58                              | 1,25                              | 2,13                | 2,14                                | 159,24     | 69,00          | 34,00                             | 1,24   | 2,17   | 4     | 93       | 4,93                                 | 117                 | 185                  | 4959       | 44                  |
| 02 | RIBEIRÃO PIMENTA     | 0,63                    | 0,53                              | 1,05                              | 1,75                | 1,67                                | 223,67     | 67,00          | 32,50                             | 1,09   | 1,63   | 4     | 118      | 4,41                                 | 153                 | 235                  | 5261       | 36                  |
| 03 | RIBEIRÃO AILSAMO     | 0,54                    | 0,46                              | 1,06                              | 1,77                | 1,93                                | 154,95     | 60,00          | 31,00                             | 1,38   | 1,69   | 4     | 71       | 4,87                                 | 91                  | 141                  | 3117       | 36                  |
| 04 | RIBEIRÃO JANGADA     | 0,61                    | 0,30                              | 1,32                              | 2,26                | 1,72                                | 302,75     | 79,00          | 41,00                             | 0,82   | 1,69   | 5     | 253      | 4,37                                 | 315                 | 505                  | 18085      | 64                  |
| 05 | CÓRREGO DO BARREIRO  | 0,49                    | 1,32                              | 1,65                              | 2,90                | 2,20                                | 108,87     | 53,00          | 27,00                             | 0,67   | 1,54   | 4     | 144      | 4,79                                 | 182                 | 287                  | 9775       | 57                  |
| 06 | RIBEIRÃO DA LONTRA   | 0,56                    | 1,67                              | 1,97                              | 3,53                | 1,68                                | 237,84     | 73,00          | 34,50                             | 0,65   | 1,56   | 5     | 398      | 4,86                                 | 502                 | 795                  | 30128      | 70                  |
| 07 | RIBEIRÃO BAGUAÇU     | 0,39                    | 0,43                              | 1,91                              | 1,49                | 2,15                                | 562,84     | 134,00         | 65,00                             | 1,02   | 2,23   | 5     | 244      | 4,25                                 | 319                 | 487                  | 32107      | 73                  |
| 08 | RIBEIRÃO AZUL        | 0,49                    | 0,44                              | 0,92                              | 1,51                | 1,53                                | 859,97     | 148,00         | 55,00                             | 1,18   | 2,10   | 5     | 380      | 5,19                                 | 470                 | 759                  | 35782      | 78                  |
| 09 | CÓRREGO ARACANGUA    | 0,57                    | 0,37                              | 0,87                              | 1,42                | 1,87                                | 164,93     | 60,00          | 27,00                             | 1,33   | 1,62   | 4     | 61       | 4,19                                 | 80                  | 121                  | 1792       | 23                  |
| 10 | RIBEIRÃO ÁGUA PASADA | 0,50                    | 0,80                              | 1,35                              | 2,32                | 1,77                                | 507,64     | 113,00         | 51,50                             | 0,90   | 2,17   | 5     | 408      | 4,97                                 | 511                 | 815                  | 22991      | 76                  |

Por outro lado, quando o índice se distancia da unidade, isto indica que a bacia apresenta uma forma mais alongada e está afastada da sua melhor estruturação. Os dados calculados para essa variável se encontram relacionadas na Tabela 4.4.

TABELA 4.4

ÍNDICE DE CIRCULARIDADE ( $I_c$ ) CALCULADO ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | ÍNDICE DE CIRCULARIDADE       |                                  |                                 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 0,41                          | 0,44                             | 0,42                            |
| 02     | 0,59                          | 0,63                             | 0,63                            |
| 03     | 0,51                          | 0,56                             | 0,54                            |
| 04     | 0,49                          | 0,58                             | 0,61                            |
| 05     | 0,43                          | 0,46                             | 0,56                            |
| 06     | 0,57                          | 0,56                             | 0,56                            |
| 07     | 0,38                          | 0,40                             | 0,39                            |
| 08     | 0,46                          | 0,50                             | 0,49                            |
| 09     | 0,55                          | 0,61                             | 0,57                            |
| 10     | 0,49                          | 0,60                             | 0,50                            |

A análise desta tabela mostra que, na imagem LANDSAT, as bacias hidrográficas que mais se aproximam da unidade são, em ordem crescente: Ribeirão Pimenta (0,59), Ribeirão a Lontra (0,57) e Córrego do Aracanguá (0,55). Nas cartas topográficas na escala de 1:250.000, as bacias que mais se aproximam da unidade são Ribeirão Pimenta (0,68), Córrego do Aracanguá (0,61) e Ribeirão Água Parada (0,60). Já nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, as bacias, também em ordem decrescente, são: Ribeirão Pimenta (0,63), Ribeirão Jangada (0,61) e Córrego do Aracanguá (0,57).

Por outro lado, as bacias hidrográficas que mais se distanciam de forma circular, por ordem ascendente, são: Ribeirão Baguaçu (0,38), Ribeirão Sapê (0,41) e Córrego do Barreiro (0,43) na Imagem LANDSAT na escala de 1:250.000; Ribeirão Baguaçu (0,40), Ribeirão Sapê (0,44) e Córrego do Barreiro (0,46) nas cartas topográficas na escala de 1:250.000; e Ribeirão Baguaçu (0,39), Ribeirão Sapê (0,42) e Córrego do Barreiro (0,49) nas cartas topográficas na escala de 1:50.000.

A bacia do Ribeirão Pimenta e a do Córrego do Aracanguá apresentam os maiores índices de circularidade nos três documentos analisados, enquanto as bacias do Ribeirão Baguaçu, Ribeirão Sapê e Córrego do Barreiro foram as que apresentaram os menores índices.

Observa-se também que as bacias analisadas apresentam índices de circularidade muito variados, mas não muito próximos da unidade. De fato, pela Figura 3.4 vê-se que a maior parte das bacias hidrográficas apresentam uma forma alongada, com maior alargamento nas cabeceiras e estreitamento em direção ao baixo curso do rio principal. Pode-se notar também que, de todas as bacias estudadas, a do Ribeirão Pimenta, a qual apresenta os maiores índices para os três documentos analisados, é a que realmente mais se aproxima da forma de um círculo.

Como todas as bacias hidrográficas analisadas se desenvolvem numa área formada predominantemente pela Formação Bauru do Cretáceo Superior, vê-se que o material rochoso parece não exercer influência sobre a forma das bacias.

A explicação mais plausível para entender a forma dessas bacias é que elas estão mais sujeitas à influência da topografia local do que da geologia. Observando-se o esboço hipsométrico (Figura 2.2), vê-se que um divisor d'água mais elevado, no centro da área, é o responsável pela direção principal dos canais que nascem nas áreas próximas e correm em sentido opostos, procurando atingir os rios principais, como é o caso

do rio Tietê e do Aguapeí (ou Feio). Nota-se também que os afluentes da margem esquerda do rio Tietê são mais longos que os da margem direita do rio Aguapeí.

Cesar (1977) mostra, em seus estudos, que a forma das bacias se relacionam geralmente com os aspectos litológicos e estruturais da área, mas que a topografia também tem uma importância muito grande nesse aspecto.

Para efeito de comparação, procurou-se calcular a porcentagem das diferenças entre os índices de circularidade medidos, nos documentos analisados, para cada uma das bacias hidrográficas, usando-se a fórmula abaixo, conforme Parry and Turner (1971).

$$D = \frac{Ic_I - Ic_{CT}}{Ic_{CT}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

onde:

D = Diferença em porcentagem entre as medidas.

$Ic_I$  = Índice de circularidade calculado na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

$Ic_{CT}$  = Índice de circularidade calculado a partir das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Os dados calculados estão relacionados na Tabela 4.5. Observando-se esta tabela, vê-se que a diferença em porcentagem entre a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e a carta topográfica na escala de 1:250.000 para a bacia do Ribeirão Pimenta (a que mais se aproximou da unidade) foi de -13,2%, e a diferença, para essa mesma bacia, entre imagem LANDSAT e carta topográfica na escala de 1:50.000 foi de apenas -6,3%. Já para a bacia do Ribeirão Baguaçu (o índice que mais se afastou da unidade), a diferença em porcentagem entre a medida feita na imagem e na carta topográfica na escala de 1:250.000 foi de -5%, enquanto a diferença entre a imagem e a carta topográfica na escala de 1:50.000 foi de apenas -2,6%.

Fazendo-se uma análise geral da Tabela 4.5 vê-se que, para o Índice de circularidade, os dados levantados a partir das imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 se aproximam muito mais dos dados levantados a partir de cartas topográficas na escala de 1:50.000. Os valores calculados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 sempre dão para cada bacia diferenças maiores em relação à carta na escala de 1:50.000.

TABELA 4.5

ÍNDICE DE CIRCULARIDADE (Ic)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DO ÍNDICE DE CIRCULARIDADE<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000) |                                 |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | - 6,8   | - 2,4                           |
| 02                          | -13,2   | - 6,3                           |
| 03                          | - 8,9   | - 5,5                           |
| 04                          | -15,5   | -19,7                           |
| 05                          | - 6,5   | -23,2                           |
| 06                          | 1,8   | 1,8                             |
| 07                          | - 5,0   | - 2,6                           |
| 08                          | - 8,0   | - 6,1                           |
| 09                          | - 9,8   | - 3,5                           |
| 10                          | -18,3   | - 2,0                           |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = - 9,0\%$   | $\bar{D} = - 5,9\%$             |

Essas diferenças são praticamente iguais apenas em uma bacia hidrográfica. Assim vê-se que, para a bacia do Ribeirão da Lontra, a diferença entre imagens LANDSAT na escala de 250.000 e cartas topográficas

ficas na escala de 1:250.000 é de 1,8%, enquanto essa diferença entre imagens LANDSAT e cartas topográficas na escala de 1:50.000 é também de 1,8%.

Baseado nas características quantitativas dos índices de circularidade calculados para os diferentes documentos, confeccionaram-se as Figuras 4.1 e 4.2 para mostrar as relações entre os documentos.

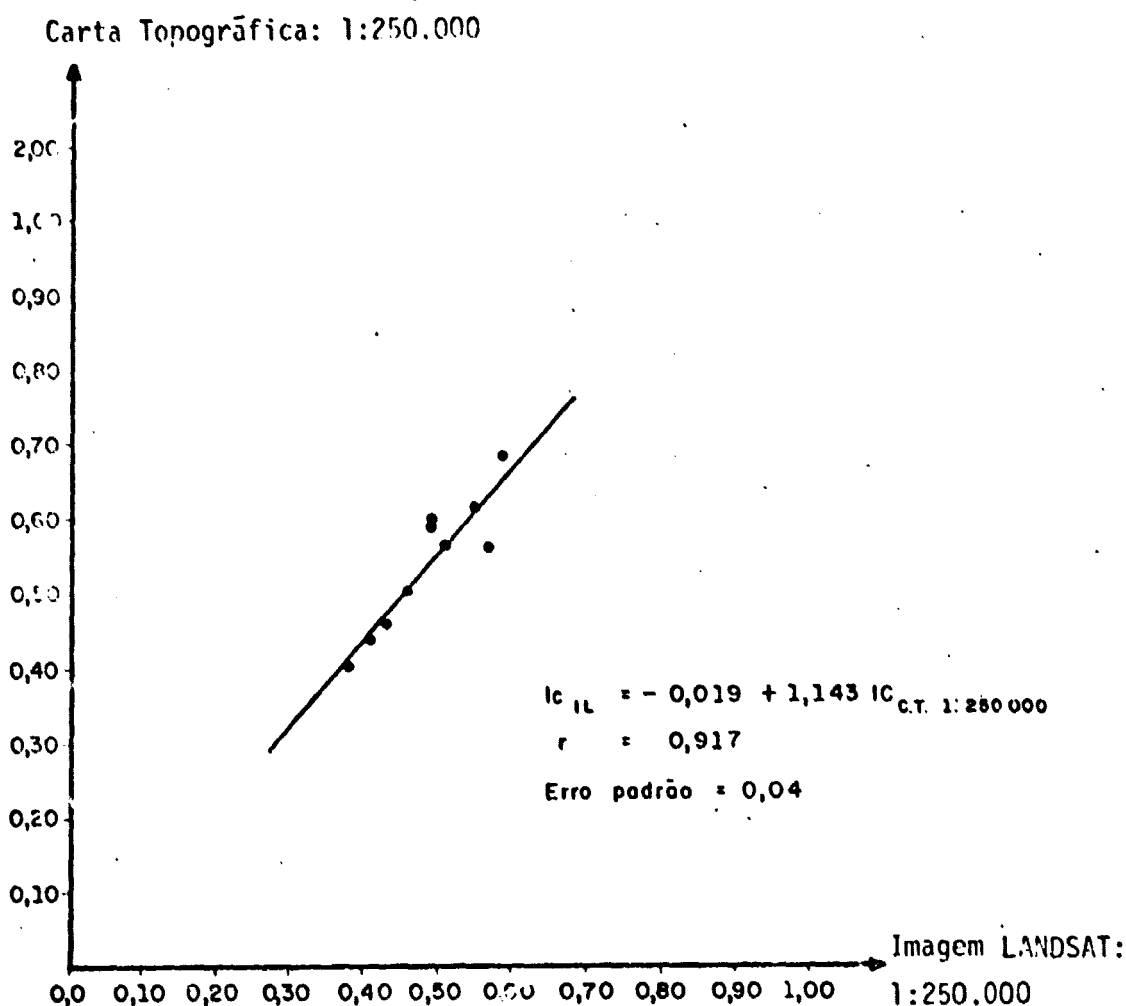


Fig. 4.1 - Relação entre o índice de circularidade ( $I_c$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

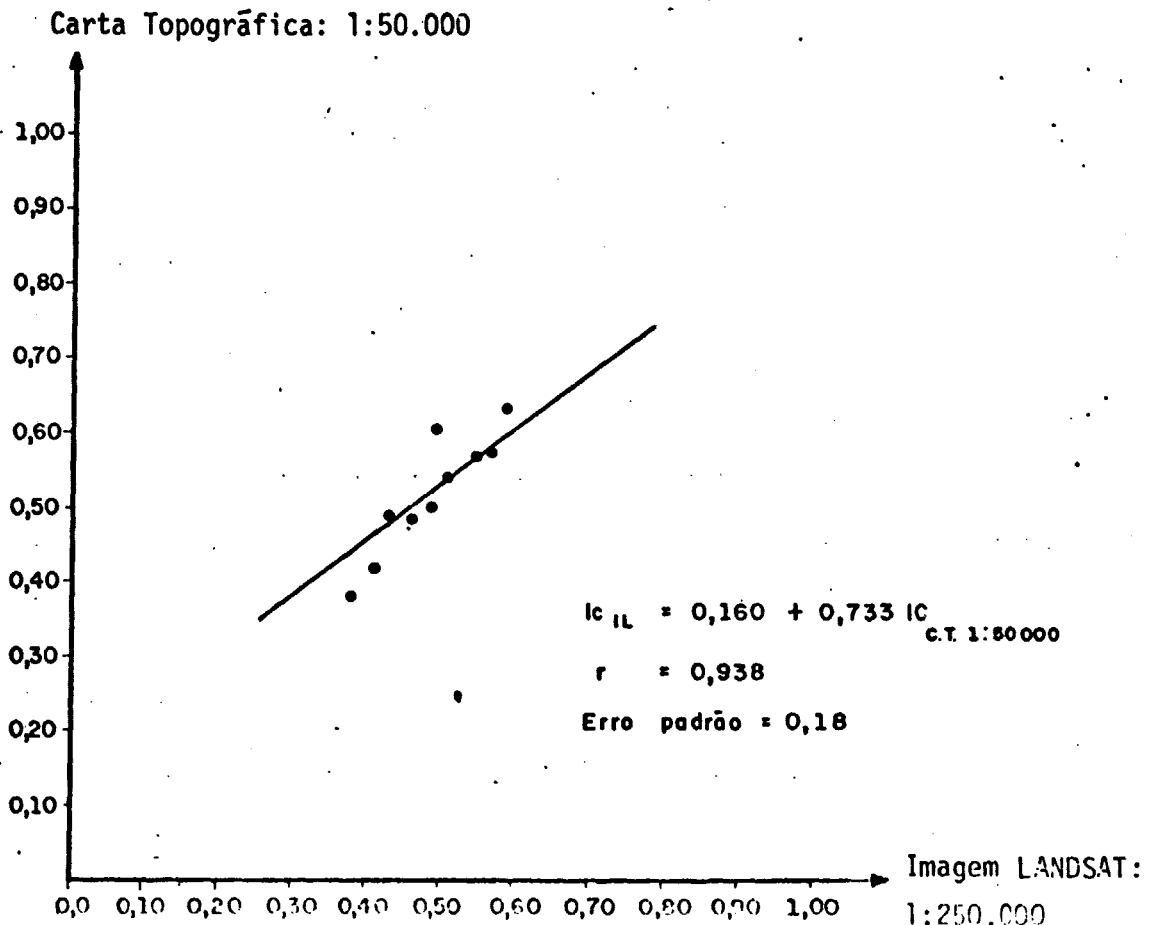


Fig. 4.2 - Relação entre o índice de circularidade ( $Ic$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na Carta Topográfica (1:50.000).

Observando-se a Figura 4.1 vê-se que os dados para o  $Ic$  a partir das imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 e das cartas topográficas na escala de 1:250.000, apresentam uma relação linear. Os maiores valores calculados nas imagens LANDSAT correspondem aos maiores valores calculados nas cartas topográficas, e assim por diante. Vê-se também que a relação apresenta um coeficiente de correlação alto, por volta de  $r = 0,91$ , o que mostra que há uma grande correlação entre os índices.

A Figura 4.2 mostra a relação entre imagem LANDSAT e carta topográfica na escala de 1:50.000; observa-se que os índices também obedecem a uma relação linear, com coeficiente de correlação igual a 0,93. Vê-se que os dados calculados a partir das imagens LANDSAT e das cartas topográficas na escala de 1:50.000 apresentam maior correlação.

Desse modo, o  $I_c$  para a área analisada pode muito bem ser calculado a partir das imagens LANDSAT na escala de 1:250.000, pois os dados calculados através das cartas topográficas na escala de 1:50.000, que é considerada uma ótima escala para esse tipo de trabalho, mostram praticamente os mesmos valores. A diferença média em porcentagem, entre os dados levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 em relação aos dados levantados através das cartas topográficas na escala de 1:50.000, está por volta de -6,9, o que na realidade não é uma grande diferença quando se consideram os diferentes documentos analisados.

#### 4.1.2 - DENSIDADE DE RIOS (Dr)

Entende-se por densidade de rios um índice que relaciona o número de segmentos ou canais de primeira ordem (magnitude da bacia) com a área de respectiva bacia, e que foi proposto por Christofolletti (1978). O autor procura mostrar que há uma certa confusão entre o conceito de frequência de rios, que é a soma total de todos os canais independentemente da ordem dos canais e o conceito de densidade de rios, que relaciona apenas os segmentos de primeira ordem; ou seja, as nascentes com a área de respectiva bacia hidrográfica.

A caracterização do conceito de densidade de rios tem uma importância fundamental para o estudo da morfometria das bacias hidrográficas, bem como para a sua caracterização, pois há um alto grau de correlacionamento entre esse índice e as condições ambientais.

Cesar (1977) mostra que os fatores morfoestruturais e litológicos têm grande destaque na explicação desses índices, pois argumenta que quanto mais próximos estiverem de uma área escarpada de rochas resis



tentes à erosão, maiores serão os valores da densidade de rios. Além disso rochas impermeáveis que dificultam a infiltração das águas das chuvas fazem com que haja um aumento no número de pequenos canais, aumentando assim o valor do índice de densidade de rios, de determinada área.

No levantamento dos canais de primeira ordem, deve-se atentar para os aspectos metodológicos da questão, procurando-se assinalar apenas os canais permanentes, pois é muito frequente conforme a escala do trabalho, serem também delineados os ravinamentos nas vertentes por onde correm as enxurradas (escoamento concentrado). Deve-se evitar esse engano e, neste caso, procura-se considerar apenas os canais devidamente incisos na topografia, que representam a rede de drenagem permanente e estruturada.

Os dados contidos na Tabela 4.6 resume os índices de densidade de rios calculados para as várias bacias hidrográficas, na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Confrontando-se os resultados obtidos, vê-se que as maiores densidades de rios aparecem nas bacias hidrográficas, que foram levantadas através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000. Exemplificando-se, tem-se em ordem decrescente: Ribeirão da Jangada (1,49), Córrego do Barreiro (1,29), Ribeirão da Lontra (1,28), Ribeirão Pimenta (1,22) e Ribeirão Bálamo (1,19).

As menores densidades foram registradas para as bacias levantadas a partir das cartas topográficas na escala de 1:250.000, e o maior valor encontrado nessa escala foi para a bacia do Córrego do Barreiro, com um índice igual a 0,10.

As bacias levantadas nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 apresentaram valores de densidades mais próximas dos calculados para a imagem LANDSAT, destacando-se a bacia do Ribeirão da Lontra, com um índice por volta de 1,67, que foi o maior índice encontrado. Para as

outras bacias tais como Ribeirão Jangada (0,80), Córrego do Barreiro (1,32), Ribeirão Pimenta (0,53) e Ribeirão Bálamo (0,46), os valores de densidade de rios já são um pouco menores.

Comparando-se os dados levantados na imagem LANDSAT com os das cartas topográficas, vê-se que as cartas topográficas na escala de 1:50.000 dão mais informações (densidade de rios maiores) do que quando comparada com os dados levantados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000. Entretanto esse fato pode ser facilmente explicado, pois nas imagens LANDSAT, tem-se sempre uma visão panorâmica da paisagem e é fácil para o pesquisador distinguir os canais fluviais. Na imagem orbital do satélite LANDSAT, padrões de drenagem podem ser facilmente mapeados através da análise visual ou do emprego de aparelhagem de melhor precisão. Padrões de drenagem diferentes, em áreas adjacentes, são também perfeitamente notadas, podendo-se inferir variações na geologia regional.

TABELA 4.6

DENSIDADE DE RIOS ( $D_r$ ) CALCULADA ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)  
E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 e 1:50.000)

| BACIAS | DENSIDADE DE RIOS (rios/km <sup>2</sup> ) |                                  |                                 |
|--------|---|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 1,00                                      | 0,06                             | 0,58                            |
| 02     | 1,22                                      | 0,05                             | 0,53                            |
| 03     | 1,19                                      | 0,09                             | 0,46                            |
| 04     | 1,49                                      | 0,07                             | 0,80                            |
| 05     | 1,29                                      | 0,10                             | 1,32                            |
| 06     | 1,28                                      | 0,09                             | 1,67                            |
| 07     | 0,77                                      | 0,07                             | 0,43                            |
| 08     | 0,47                                      | 0,07                             | 0,44                            |
| 09     | 0,48                                      | 0,07                             | 0,37                            |
| 10     | 0,86                                      | 0,05                             | 0,80                            |

Quanto mais capacitado e treinado for o restituidor, maior número de pequenos canais poderão ser identificados e mapeados. Nas imagens LANDSAT, as bacias hidrográficas podem ser mapeadas com certa precisão, que aumenta em função do conhecimento e capacidade do pesquisador.

Já nas cartas topográficas sente-se uma perda muito grande de informações. Comparando-se as cartas topográficas, vê-se que as cartas na escala de 1:50.000 dão melhores informações a respeito das bacias hidrográficas; mas mesmo assim, são muito falhas.

Quando se analisa uma carta topográfica nessa escala, percebe-se claramente o grande número de canais ou nascentes que não são restituídos. Sabe-se que, sempre que há maior aproximação das curvas de nível, formando reentrâncias, é sinal de que deve haver na natureza um pequeno canal ou curso d'água, o qual por falha de restituição não foi assinhalado. Desta maneira, a perda de informações em relação às cabeceiras e as pequenos riachos é imensa. Se se passar, então da escala de 1:50.000 para a escala de 1:250.000, vê-se que há maior perda de informação.

Como as cartas topográficas na escala de 1:250.000 são compilações de cartas em escala maior, é fácil de entender que nessa escala há uma perda muito grande de informações, quando se consideram os pequenos riachos e canais.

O índice de densidade de rios tem grande significação geomorfológica na caracterização das redes fluviais, pois existe grande relacionamento entre ele e as condições ambientais. A literatura mostra que, quanto mais impermeável for o embasamento rochoso, menor será a infiltração da água; conseqüentemente, maior será o escoamento superficial. Se a esse fato se aliar a topografia (inclinação das vertentes), vê-se que em áreas mais escarpadas aumentará o escoamento superficial, conseqüentemente, aumentará o número de canais, bem como o índice de densidade de rios dessa área.

Neste caso, as bacias que apresentam os maiores índices de densidade de rios (tanto na imagem LANDSAT como nas cartas topográficas na escala de 1:50.000) são as bacias do Ribeirão da Jangada, Córrego do Barreiro, Ribeirão da Lontra e Ribeirão Pimenta.

Observando-se o esboço geológico (Figura 2.1), vê-se que a maior parte da área dessas bacias citadas apresenta como embasamento geológico o Litofácies  $B_2$ , da Formação Bauru, caracterizado por Amaral (1977) como a área de maior densidade de drenagem e relevo mais movimentado, com relação ao  $B_1$ .

Então pode-se deduzir que essa topografia localmente mais movimentada em relação às áreas adjacentes é o fator responsável pelo aumento do número de canais de primeira ordem; conseqüentemente, é o fator explicativo do aparecimento de valores maiores de densidade de rios para as bacias citadas.

Para efeito de comparação, calculou-se a diferença em porcentagem dos dados levantados na imagem LANDSAT na escala de (1:250.000) e nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, usando-se a Fórmula 4.1, cujos resultados se encontram listados na Tabela 4.7.

Analisando-se a tabela, vê-se claramente a enorme diferença que existe entre os dados levantados a partir da imagem LANDSAT e das cartas topográficas na escala de 1:250.000. Para as dez bacias analisadas, as diferenças atingem porcentagens altíssimas. Observa-se que, mesmo levando-se em conta as duas menores diferenças assinaladas, relativas à bacia do Ribeirão Azul com 571,4% e à bacia do Córrego do Aracanguá com uma diferença de 585,7%, vê-se que são valores muito altos, sempre maiores que 500%.

TABELA 4.7

DENSIDADE DOS RIOS (Dr)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DA DENSIDADE DE RIOS<br>ENTRE IMAGENS LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 1566,7  | 72,4                            |
| 02                          | 2340,0  | 130,2                           |
| 03                          | 1222,2  | 158,7                           |
| 04                          | 2028,5  | 86,2                            |
| 05                          | 1190,0  | - 2,3                           |
| 06                          | 1322,2  | - 23,3                          |
| 07                          | 1000,0  | 79,1                            |
| 08                          | 571,4   | 6,8                             |
| 09                          | 585,7   | 29,7                            |
| 10                          | 1620,0  | 7,5                             |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 1344,7\%$  | $\bar{D} = 54,5 \%$             |

Quanto às outras 8 bacias, atingiram índices de diferença em porcentagem sempre maiores que 100%. A maior diferença encontrada foi a da bacia do Ribeirão Pimenta, com 2340,0%.

Comparando-se as diferenças em porcentagem entre os dados calculados na imagem LANDSAT e nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, vê-se claramente que as diferenças, apesar de serem altas, estão em sua maior parte abaixo do índice de 100%. Apenas as bacias do Ribeirão Pimenta e do Ribeirão do Bálamo apresentaram índices superiores a 100%: 130,2% e 158,7%, respectivamente.

Por outro lado, pode-se observar que para algumas bacias essas diferenças foram mínimas. Assim, vê-se que o Córrego do Barreiro apresentou a menor diferença em porcentagem: -2,3%. Em seguida, tem-se a bacia do Ribeirão Azul com 6,8% e a bacia do Ribeirão da Água Parada com apenas 7,5% de diferença.

Isso mostra que, quando as cartas topográficas são confeccionadas com maior precisão, isto é, quando são assinaladas todas as nascentes e cabeceiras, as diferenças entre imagem LANDSAT e carta topográfica na escala de 1:50.000 tendem a diminuir, apresentando diferenças menores.

Chama-se a atenção para o fato de que o pesquisador, quando restitui a rede de drenagem a partir de cartas topográficas na escala de 1:50.000 deve sempre que possível complementar, através de sua experiência, os canais e riachos que faltam, os quais se sabe existirem na natureza, pela maior aproximação das curvas de nível.

Comparando-se a diferença média total em porcentagem entre os dados calculados a partir da imagem LANDSAT e das cartas topográficas na escala de 1:250.000, vê-se que elas atingem uma porcentagem muito alta, por volta de 1344,7%, enquanto a diferença média total em porcentagem entre imagem LANDSAT e as cartas topográficas na escala de 1:50.000 fica por volta de 54.5%.

Comparando-se a diferença média total em porcentagem entre os dados levantados a partir das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, vê-se que essa diferença é de aproximadamente 200%. Pode-se notar que é uma diferença muito alta, o que mostra claramente que as cartas topográficas na escala de 1:250.000 são muito pobres em informações sobre as redes hidrográficas, quando comparadas com outros tipos de documentos tais como Imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:50.000.

As Figuras 4.3 e 4.4, confeccionadas a partir dos índices de densidade de rios calculados para as bacias hidrográficas, mostram o relacionamento entre os diferentes documentos analisados.

Densidade de Rios (Dr) Rios / km<sup>2</sup>

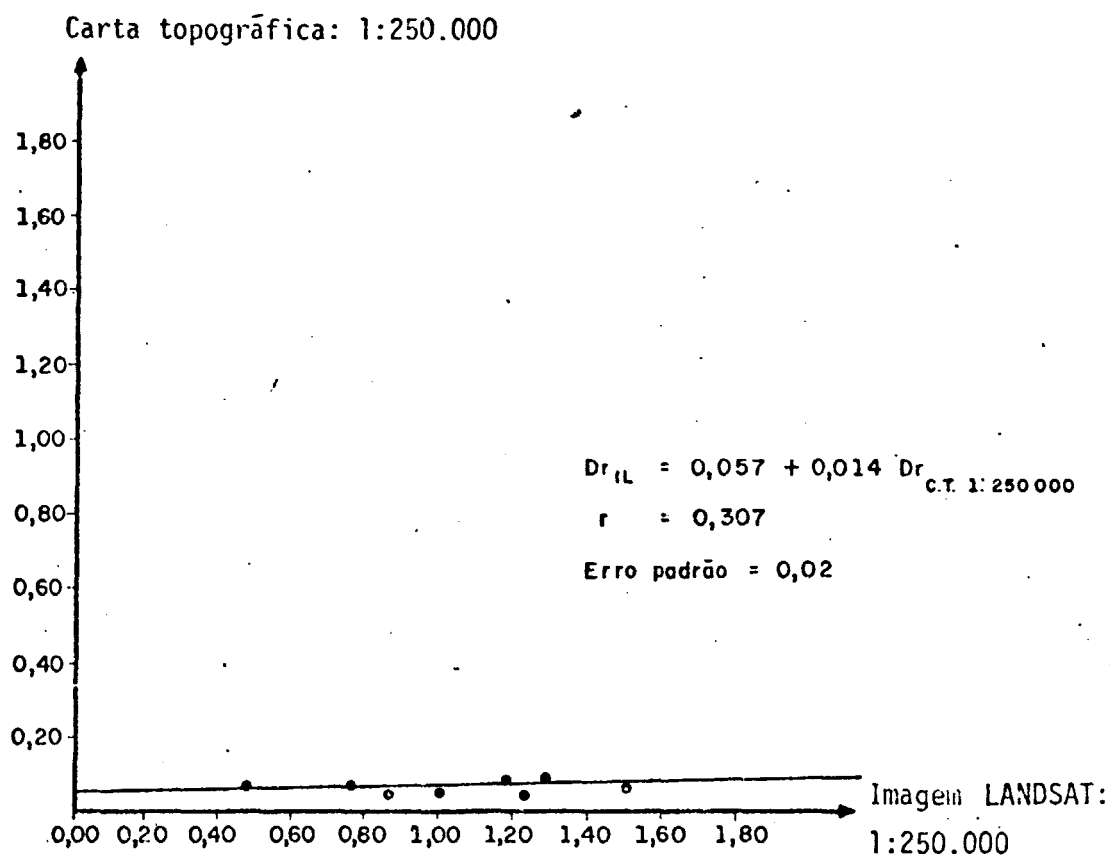


Fig. 4.3 - Relação entre densidade de rios (Dr) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000):

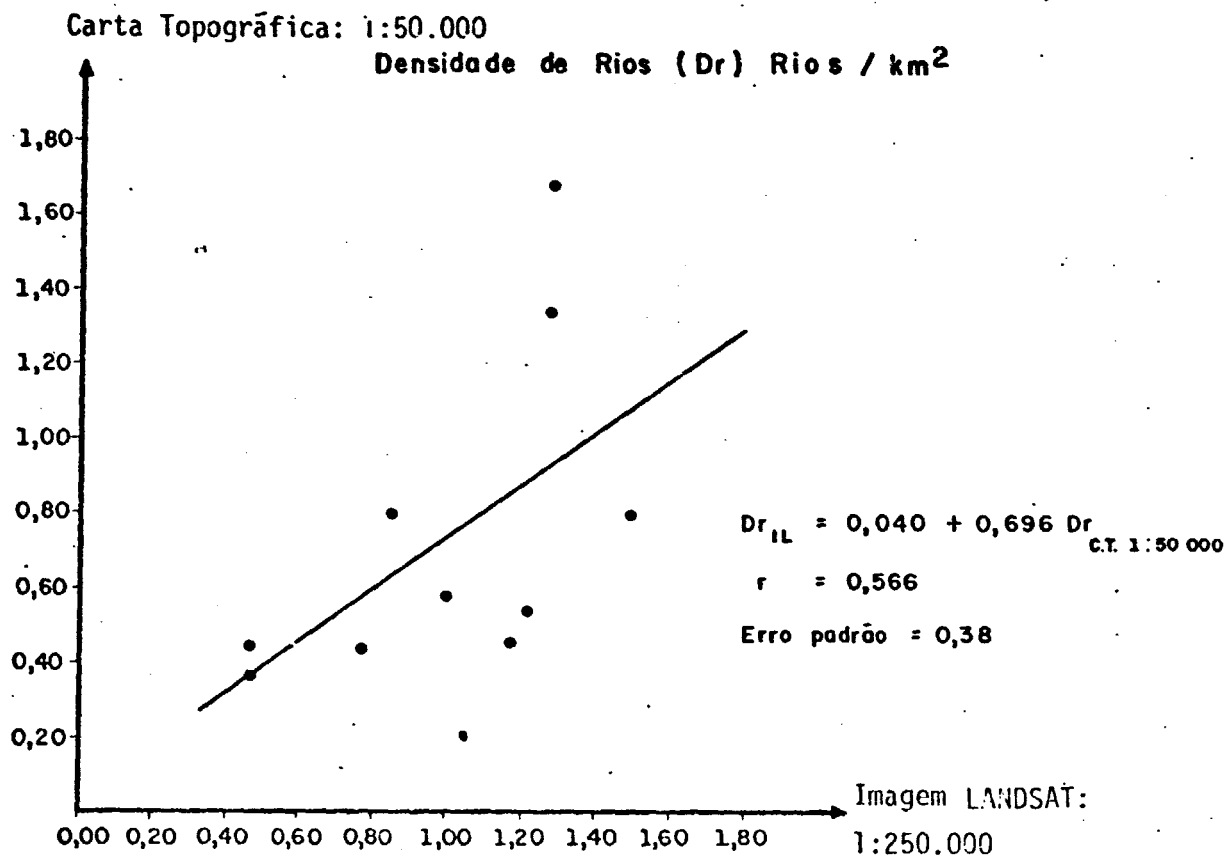


Fig. 4.4 - Relação entre densidade de rios (Dr) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

No primeiro caso (Figura 4.3), vê-se que a correlação entre os índices levantados nas imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 e os da carta topográfica na escala de 1:250.000 é muito baixa, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,307. Assim vê-se que não há relação entre os dados, pois aos diferentes valores encontrados na imagem LANDSAT correspondem valores muito baixos na carta topográfica na escala de 1:250.000. Os dados da imagem LANDSAT apresentam também valores que variam de 0,40 (valor mais baixo) a 1,49 (valor mais alto), enquanto os dados levantados na carta topográfica na escala de 1:250.000 não atingem o valor de 0,20.

*[Handwritten signature]*



No segundo caso (Figura 4.4), vê-se que há maior aproximação dos valores calculados entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:50.000. Apesar de haver um coeficiente de correlação ainda baixo, por volta de 0,566, algumas bacias já mostram certo relacionamento. Há maior correlacionamento das variáveis para os valores para menores, enquanto para os valores mais altos de densidade de rios já há maior dispersão.

Essa análise rápida e sucinta mostra que a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 dá maior detalhe da rede de drenagem, quando comparada com outros documentos tais como cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Finalizando-se, vê-se que a variável densidade de rios, para essa área de estudo, pode ser medida com maior exatidão das imagens LANDSAT na escala de 1:250.00 do que nas cartas topográficas na mesma escala de imagem e mesmo em escalas maiores, como é o caso das cartas topográficas na escala de 1:50.000.

#### 4.1.3 - DENSIDADE DE DRENAGEM (Dd)

Esse índice morfométrico correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica considerada. Para efeito de cálculo, considera-se o comprimento dos canais dentro de cada ordem; o comprimento total é, então, a soma dos comprimentos de cada ordem.

Em função disso, pode-se perceber que há uma relação proporcional entre esse índice e o tamanho dos canais, pois à medida que aumenta o valor numérico da densidade da drenagem, há diminuição proporcional no comprimento dos componentes fluviais.

Em função disso, pode-se perceber que há uma relação proporcional entre esse índice e o tamanho dos canais, pois à medida que umenta o valor numérico da densidade da drenagem, há diminuição proporcional no comprimento dos componentes fluviais.

O índice de densidade de drenagem, associado ao índice de densidade de rios, tem grande significação geomorfológica na caracterização das redes hidrográficas, devido ao alto grau de relacionamento com as condições ambientais.

Os valores calculados para esse índice estão relacionados na Tabela 4.8. Analisando-se essa tabela pode-se perceber que, de modo geral, os dados calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 apresentam os maiores valores de densidade da drenagem, quando comparados com as cartas topográficas nas escalas de 1:250.00 e 1:50.000.

TABELA 4.8

DENSIDADE DE DRENAGEM (Dd) CALCULADA ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)  
E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 e 1:50.000)

| BACIAS | DENSIDADE DE DRENAGEM (km/km <sup>2</sup> ) |                                  |                                  |
|--------|---|----------------------------------|----------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)               | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) |
| 01     | 1,52  | 0,45                             | 1,25                             |
| 02     | 1,68  | 0,42                             | 1,05                             |
| 03     | 1,63  | 0,50                             | 1,06                             |
| 04     | 1,85  | 0,52                             | 1,32                             |
| 05     | 1,85  | 0,54                             | 1,65                             |
| 06     | 1,70  | 0,53                             | 1,97                             |
| 07     | 1,35  | 0,51                             | 0,91                             |
| 08     | 1,00  | 0,53                             | 0,92                             |
| 09     | 1,06  | 0,42                             | 0,87                             |
| 10     | 1,51  | 0,46                             | 1,35                             |

Os maiores valores de densidade da drenagem encontrados, em ordem decrescente, são: Ribeirão da Jangada (1,85), Córrego do Barreiro (1,85), Ribeirão da Lontra (1,70), Ribeirão Pimenta (1,68) e Ribeirão Balsamo (1,63).

Os menores valores encontrados dizem respeito à carta topográfica na escala de 1:250.000, dentre os quais destaca-se a bacia do Córrego do Barreiro, com um índice de densidade da drenagem igual a 0,54, que é o valor mais alto encontrado para esse documento.

Os dados calculados através das cartas topográficas na escala de 1:50.000 já apresentam valores mais altos de densidade da drenagem, aproximando-se muito dos dados calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000. Os maiores valores encontrados para esse documento, em ordem decrescente, são: Ribeirão da Lontra (1,97), Córrego do Barreiro (1,65), Ribeirão Água Parada (1,35) e Ribeirão da Jangada (1,32).

Pode-se notar a existência de uma relação direta entre os índices de densidade de rios e os de densidade da drenagem. Assim vê-se que, tanto na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 como nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, as bacias hidrográficas que apresentam os valores mais altos de densidade de rios também apresentam os valores mais altos de densidade da drenagem; do mesmo modo, as bacias que apresentam os menores valores de densidade de rios também apresentam os mesmos valores de densidade da drenagem.

Exemplificando-se, pode-se verificar que as bacias do Ribeirão da Jangada, Córrego do Barreiro, Ribeirão da Lontra, Ribeirão Pimenta e Ribeirão do Balsamo, que apresentam os maiores índices de densidade de rios na imagem LANDSAT (respectivamente: 1,49, 1,29, 1,28, 1,22 e 1,19), também apresentam os maiores índices de densidade da drenagem, que são: Ribeirão Jangada (1,85), Córrego do Barreiro (1,85), Ribeirão da Lontra (1,70) e Ribeirão Pimenta (1,68) e Ribeirão Balsamo (1,63).

O menor índice de densidade de rios encontrado para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 é o da bacia do Ribeirão Azul, com um índice igual a 0,48, que corresponde também ao menor índice de densidade da drenagem, que é igual a 1,00.

Analisando-se os dados levantados através das cartas topográficas na escala de 1:250.000, vê-se que o maior índice de densidade de rios encontrado é o da bacia do Córrego do Barreiro, que é igual a 0,10 e corresponde ao maior índice de densidade da drenagem, que está por volta de 0,54. O menor índice de densidade de rios é o da bacia do Ribeirão Pimenta, cujo índice é igual a 0,05 e corresponde ao menor índice de densidade da drenagem, que é igual a 0,42.

Do mesmo modo, nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, a bacia hidrográfica que apresenta o maior índice de densidade de rios é a bacia do Ribeirão da Lontra, com um índice igual a 1,67, que corresponde ao maior valor de densidade da drenagem, que é igual a 1,97. Vê-se também que a bacia hidrográfica que apresenta os menores índices de densidade de rios e de densidade da drenagem é a bacia do Córrego do Aracanguá, com índices iguais a 0,37 e 0,87 respectivamente.

Considerando-se apenas os valores relativos à densidade da drenagem para os três documentos analisados, pode-se observar que as bacias hidrográficas levantadas a partir da imagem LANDSAT, na escala de 1:250.000, sempre apresentam valores maiores do que as bacias hidrográficas levantadas nas cartas topográficas, nas escalas de 1:250.000 e de 1:50.000.

Analisando-se mais detalhadamente, pode-se perceber que as diferenças entre os dados calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas são muito mais acentuadas, quando se considera a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 em relação às cartas topográficas na escala de 1:250.000.

Os Índices de densidade da drenagem estão também intimamente relacionados com as condições ambientais da área, principalmente com os fatores litológicos-estruturais e topográficos.

Cesar (1977), considera que as condições morfoestruturais e litológicas tem grande influência na caracterização da rede de drenagem, que os diferentes valores de densidade da drenagem encontrados para as várias bacias estavam sujeitas a maior ou menor controle litológico-estrutural, e que algumas bacias sofriam forte influência da topografia.

Analisando-se o esboço geológico (Figura 2.1), vê-se que as bacias que apresentam maiores Índices de densidade de drenagem (Ribeirão BALSAMO, Ribeirão Jangada, Córrego do Barreiro e Ribeirão da Lontra) estão também localizadas nas áreas onde há o predomínio do Litofácies B<sub>2</sub>, da Formação Bauru, descrito por Amaral (1977) como sendo uma unidade que apresenta elevadas densidades da drenagem e grande movimentação do relevo.

Pode-se então deduzir que, como o embasamento geológico (Formação Bauru) é praticamente o mesmo para toda a área, a variação dos Índices de densidade de drenagem está mais em função do relevo local do que do controle geológico, e que neste caso a topografia é o fator ou elemento de variação.

Para ter maior clareza dos dados, calcula-se a diferença em porcentagem para cada bacia, cujos dados obtidos encontram-se listados na Tabela 4.9. Analisando-se essa tabela nota-se que tanto as diferenças individuais, como a diferença média total em porcentagem entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000, são sempre superiores às diferenças entre imagem LANDSAT e cartas topográficas na escala de 1:50.000.

Assim, vê-se que a diferença média total em porcentagem é de apenas 26,4% entre imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:50.000, enquanto a diferença média em porcentagem entre imagens LANDSAT e cartas topográficas na escala de 1:250.000 é de 211,7%.

Esses fatos podem ser explicados pela mesma argumentação feita para os valores de densidade de rios, isto é, a soma dos comprimentos dos canais em cada ordem, medidos na imagem LANDSAT, dão valores maiores do que a soma dos canais medidos nas cartas topográficas.

TABELA 4.9

DENSIDADE DE DRENAGEM (Dd)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DA DENSIDADE DE DRENAGEM<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|--|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)   | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 237,8  | 21,6                            |
| 02                          | 300,0  | 60,0                            |
| 03                          | 226,0  | 53,8                            |
| 04                          | 255,8  | 40,1                            |
| 05                          | 242,6  | 12,1                            |
| 06                          | 220,7  | -13,7                           |
| 07                          | 164,7  | 48,3                            |
| 08                          | 88,7   | 8,7                             |
| 09                          | 152,4  | 21,8                            |
| 10                          | 228,3  | 11,8                            |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 211,7\%$  | $\bar{D} = 26,4\%$              |

Nas imagens orbitais, em função da altitude e de sua visão cinótica, consegue-se identificar de uma maneira conjunta todo um sistema hidrográfico, cuja bacias, sub-bacias, rios principais e afluentes apresentam grande riqueza de detalhes. Já nas cartas topográficas, há menor quantidade de informação, pois sabe-se que muitos rios e pequenos riachos, apesar de existirem, não são assinalados por deficiência de restituição. Esse fato assume maiores proporções quando se passa de uma carta na escala de 1:50.000 que é uma carta de detalhe, para outra na escala de 1:250.000, que já é uma carta de maior generalização; vê-se então que a perda de informação, com respeito aos pequenos riachos e canais, é muito maior.

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram a relação entre os índices calculados para os três documentos em questão. Assim vê-se (Figura 4.5) que os dados calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, em relação aos dados calculados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000, apresentam uma correlação muito baixa, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,255.

Para os valores altos de densidade da drenagem na imagem LANDSAT, encontram-se valores baixos nas cartas topográficas na mesma escala. Os dados calculados através da imagem LANDSAT também apresentam maior variabilidade, cujos valores variam de 1,00 a 1,80, enquanto os dados calculados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 mostram pequena variação, situando-se entre 0,40 e 0,60.

Os valores encontrados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 (Figura 4.6) apresentam maior correlação com os dados calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, apresentando coeficiente de correlação igual a 0,663. Apesar de os dados se mostrarem um pouco dispersos, nota-se que existe certo relacionamento, entre eles pois a valores na imagem LANDSAT também correspondem valores baixos nas cartas topográficas na escala de 1:50.000; isso também se repete para os valores mais altos.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

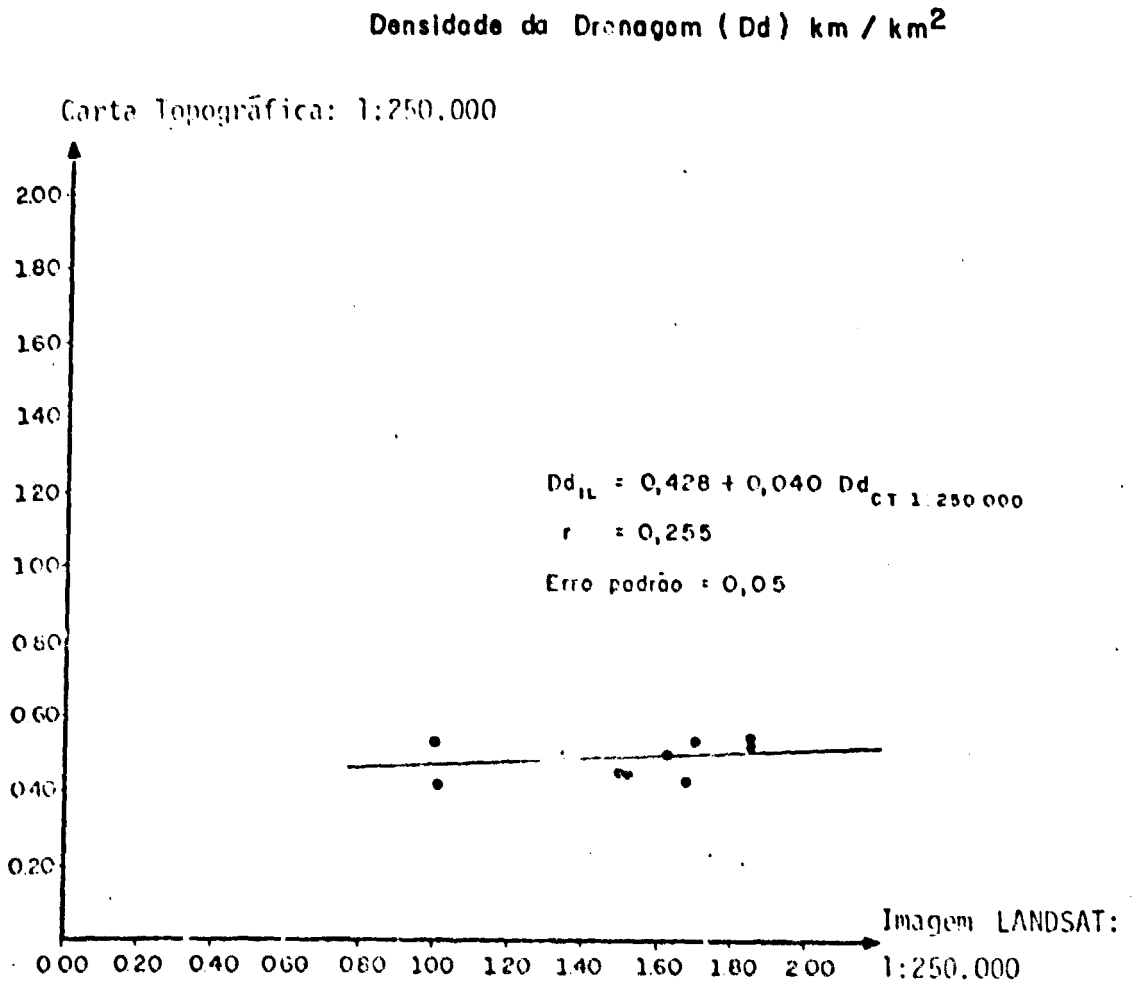


Fig. 4.5 - Relação entre densidade de drenagem (Dd) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000)



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

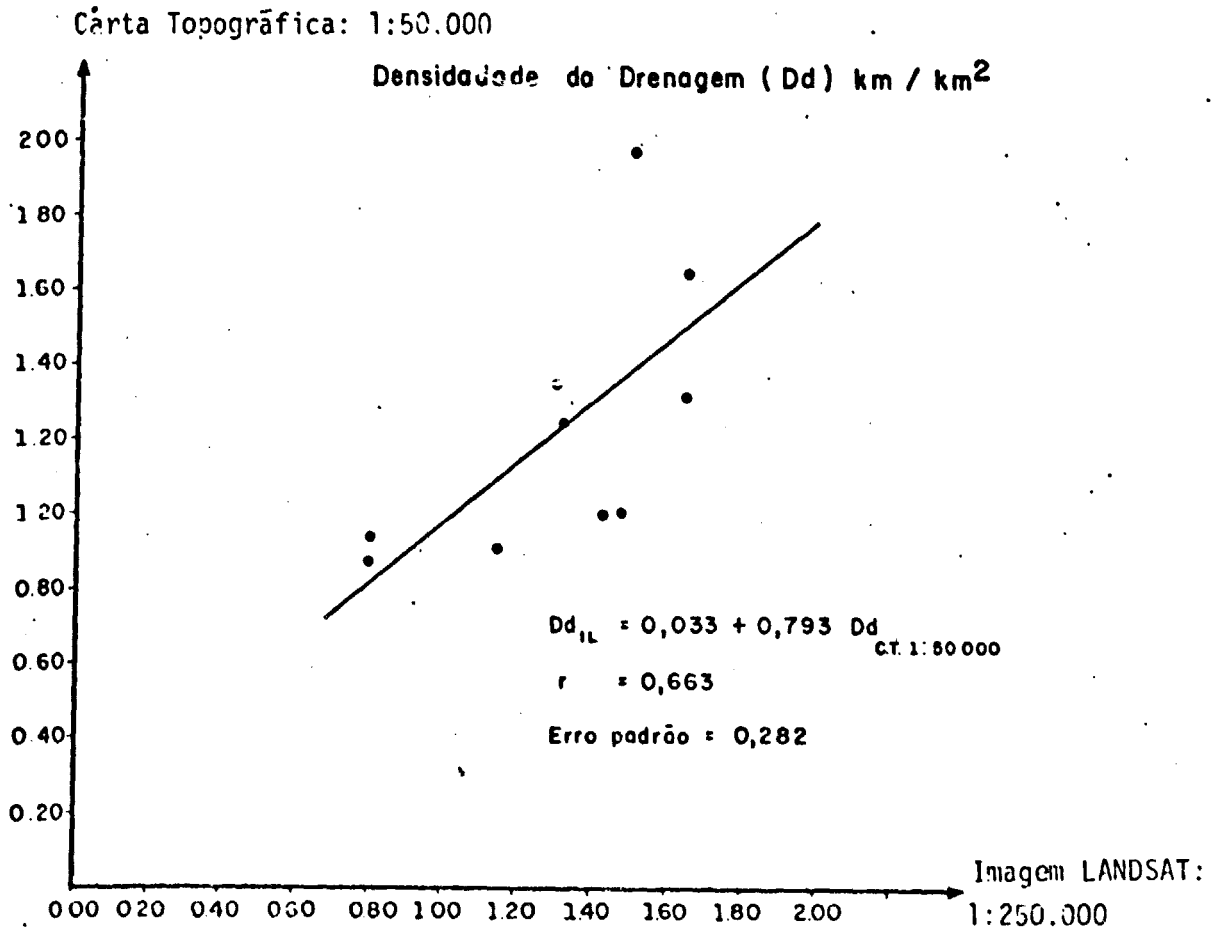


Fig. 4.6 - Relação entre densidade de drenagem (Dd) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Em função dessa análise sucinta, verifica-se que a variável densidade da drenagem, na área que está sendo analisada, pode ser perfeitamente calculada na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com maior detalhe e grau de precisão do que nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Comparando-se as cartas topográficas entre si, vê-se que as cartas topográficas na escala de 1:50.000 dão valores mais próximos dos dados calculados nas imagens LANDSAT na escala de 1:250.00; portanto, mostram mais informações do que as cartas topográficas na escala de 1:250.000.

#### 4.1.4 - TEXTURA DA TOPOGRAFIA (Tt)

A textura da topografia representa o grau de entalhamento e dissecação do relevo. Há uma relação entre o grau de dissecação da paisagem morfológica e as bacias hidrográficas. A textura topográfica é geralmente classificada em três níveis, a saber, fina, média e grosseira. A textura fina representa alto grau de entalhamento do relevo que por sua vez, apresenta índices elevados de densidade da drenagem e de rios e mostra a grande potencialidade dos cursos d'água na esculturação da paisagem. Já a textura grosseira indica a ausência de cursos d'água, isto é, uma área pobre em drenagem superficial (ver Figura 3.7).

Quanto mais dissecada for uma área, mais fina será a textura topográfica e mais elevados serão os índices de densidade de rios e da drenagem.

Cesar (1977) mostra que "as áreas que apresentam grau mais elevado de entalhamento topográfico ou dissecação do relevo, correspondem exatamente àquelas que revelaram maiores índices de Dh e Dd, isto é, maior comprimento total de canais por quilômetro quadrado, desempenhando a drenagem papel importante no escoamento do material e na esculturação do relevo. Suas áreas pertencem às bacias que se localizam nos setores da re

gião onde o relevo aparece mais movimentado e escarpado, sustentado ou pelo menos altamente influenciado - por arenitos com alto teor de cimento calcário.

Os dados calculados para a textura topográfica encontram-se listados na Tabela 4.10. Analisando-se esta tabela, vê-se que os maiores valores de textura topográfica encontrados pertencem às bacias levantadas através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000. Os maiores valores encontrados para esse índice, em ordem decrescente, são: Ribeirão Jangada (3,29), Córrego do Barreiro (3,29), Ribeirão da Lontra (3,00), Ribeirão Pimenta (2,96) e Ribeirão do Bálamo (2,86).

Por sua vez, a carta topográfica na escala de 1:250.000 apresentou os menores valores de textura topográfica, destacando-se a bacia do Córrego do Barreiro com índice igual a 0,83 que foi o valor de maior expressão para esse documento.

Os dados levantados a partir das cartas na escala de 1:50.000 já apresentam valores mais próximos dos da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, destacando-se a bacia do Ribeirão da Lontra (3,53), Córrego do Barreiro (2,90), Ribeirão Água Parada (2,32) e Ribeirão Jangada (2,26).

Existe uma relação entre os índices de Dr e Dd com os índices obtidos para a Tt. Para exemplificar, tomaram-se os dados relativos à imagem LANDSAT e confeccionou-se a Tabela 4.11, verificando-se que as bacias relacionadas são as que apresentam os maiores índices de Dr, Dd e Tt. Comparando-se os outros dados, ver-se-á que essa relação sempre se mantém, havendo pouquíssimas diferenças, que podem ser perfeitamente desprezadas.

Comparando-se os índices de Tt obtidos - tanto na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 como nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000 - com a classificação proposta por França (1968), observa-se que, de modo geral, todos são inferiores a 4,0, valor estabelecido pelo autor.

ORIGINAL PAGE 13  
OF POOR QUALITY

TABELA 4.10

TEXTURA DA TOPOGRAFIA (Tt) CALCULADA ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT  
(1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50 000)

| BACIAS | TEXTURA TOPOGRÁFICA          |                                  |                                  |
|--------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.00) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) |
| 01     | 2,64                         | 0,68                             | 2,13                             |
| 02     | 2,96                         | 0,63                             | 1,75                             |
| 03     | 2,86                         | 0,77                             | 1,77                             |
| 04     | 3,29                         | 0,80                             | 2,26                             |
| 05     | 3,29                         | 0,83                             | 2,90                             |
| 06     | 3,00                         | 0,82                             | 3,53                             |
| 07     | 2,32                         | 0,78                             | 1,49                             |
| 08     | 1,66                         | 0,82                             | 1,51                             |
| 09     | 1,77                         | 0,63                             | 1,42                             |
| 10     | 2,63                         | 0,70                             | 2,32                             |

TABELA 4.11

RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES D<sub>r</sub>, D<sub>d</sub> E T<sub>t</sub> NA IMAGEM LANDSAT

| BACIAS                  | IMAGEM LANDSAT |      |      |
|-------------------------|----------------|------|------|
|                         | Dr             | Dd   | Tt   |
| 4 - Ribeirão Jangada    | 1,49           | 1,85 | 3,29 |
| 5 - Córrego do Barreiro | 1,29           | 1,85 | 3,29 |
| 6 - Ribeirão da Lontra  | 1,28           | 1,70 | 3,00 |
| 2 - Ribeirão Pimenta    | 1,22           | 1,68 | 2,96 |
| 3 - Ribeirão Bálamo     | 1,19           | 1,63 | 2,86 |

Desse modo, as bacias hidrográficas estudadas podem ser classificadas como possuidoras de uma textura grosseira. Geomorfologicamente isso significa que a paisagem nessa área é pouco dissecada, isto é, a topografia é pouco movimentada.

Realmente, a característica fundamental do Planalto Ocidental Paulista é a sua monotonia paisagística, cujas colinas suavizadas de topo plano formam amplos interflúvios. Isso explica porque os índices de Tt calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000 ficaram abaixo de 4,0, valor estabelecido por França (1968).

Apesar de as bacias apresentarem uma Tt grosseira o que indica baixa dissecção da paisagem, pode-se notar que na área em estudo existe uma certa correlação entre os índices de Tt com os aspectos ambientais.

Assim, nota-se que as áreas que mostraram maior valor para o índice de Tt correspondem também aos maiores valores de Dr e Dd, e estão relacionados aos terrenos onde predomina a Litofácia B<sub>2</sub> da Formação Bauru, descrito por Amaral (1977) como sendo uma área de relevo mais movimentado.

Por outro lado, as bacias que apresentaram menores índices de Tt, Dr e Dd estão intimamente relacionadas com as áreas mais planas e monótonas, com amplos interflúvios que correspondem aos terrenos formados pela Litofácia B<sub>1</sub>, descrito pelo autor como áreas de relevo suave e monótono.

Conclui-se então que a presença da Litofácia B<sub>2</sub>, que origina uma topografia mais movimentada, tem expressão geomorfológica local e é responsável pela variação dos índices de Dr e Dd; consequentemente reflete na variação dos índices de Tt, que são mais acentuados para as bacias hidrográficas que se localizam nessa área.

A Tabela 4.12 mostra a diferença em porcentagem par os índices de Tt, para os três documentos analisados. Observando-se a tabela, vê-se que a diferença em porcentagem entre os dados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e os da carta topográfica na escala de 1:250.000 consiste em valores muito altos. Todos os valores de diferença em porcentagem calculados ultrapassaram o valor de 100%. A bacia do Ribeirão Pimenta é a que apresenta a maior diferença em porcentagem entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000, apontando uma diferença em porcentagem de aproximadamente 369,9%. A menor diferença diz respeito à bacia do Ribeirão Azul, com valor igual a 102,4%, que, mesmo sendo a menor diferença, atinge índice superior a 100%.

TABELA 4.12

TEXTURA TOPOGRÁFICA (Tt)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DA TEXTURA TOPOGRÁFICA<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|--|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)   | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 288,2  | 23,9                            |
| 02                          | 369,8  | 69,1                            |
| 03                          | 271,4  | 61,5                            |
| 04                          | 311,2  | 45,5                            |
| 05                          | 296,4  | 13,4                            |
| 06                          | 265,8  | -15,0                           |
| 07                          | 120,1  | 55,7                            |
| 08                          | 102,4  | 9,9                             |
| 09                          | 180,9  | 24,6                            |
| 10                          | 275,7  | 13,3                            |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 248,2\%$  | $\bar{D} = 30,1\%$              |

Isso mostra novamente a grande diferença de informação existente entre os dados levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e os dados levantados nas cartas topográficas na mesma escala.

Comparando-se os dados levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com os dados das cartas topográficas na escala de 1:50.000, vê-se que as diferenças já são bem menores e nunca ultrapassam o valor de 100%. A maior diferença encontrada entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e as cartas topográficas na escala de 1:50.000 dis respeito à bacia do Ribeirão Pimenta, cujo valor está por volta de 69,1%.

A bacia do Ribeirão Azul é a que representa um valor mais próximo ao da imagem LANDSAT, apresentando uma diferença em porcentagem de aproximadamente 9,9%.

Comparando-se a diferença média total em porcentagem entre os dados calculados, vê-se que entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000 existe uma diferença média em porcentagem de aproximadamente 248,2%, enquanto entre os dados obtidos na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e os da carta topográfica na escala de 1:50.000 a diferença média em porcentagem está por volta de 30,1%.

As Figuras 4.7 e 4.8 mostram a relação entre os índices de Tt para os documentos analisados. No primeiro caso (Figura 4.7), vê-se que a relação entre os dados calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 confrontados com os dados calculados na carta topográfica na mesma escala, é muito baixa, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,252. Há maior variabilidade nos dados calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, apresentando índices que variam de 1,60 a 3,20, enquanto os dados obtidos nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 não ultrapassam o valor de 0,80.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

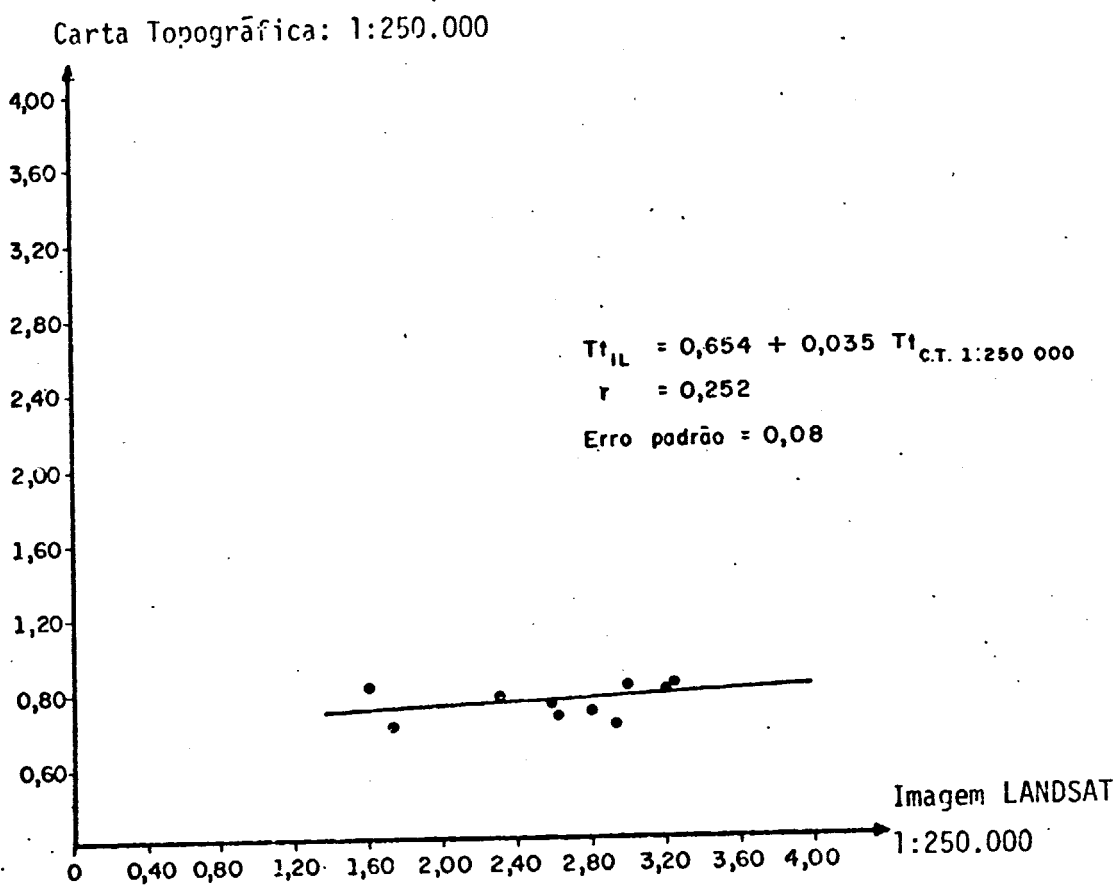


Fig. 4.7 - Relação entre textura topográfica (Tt) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

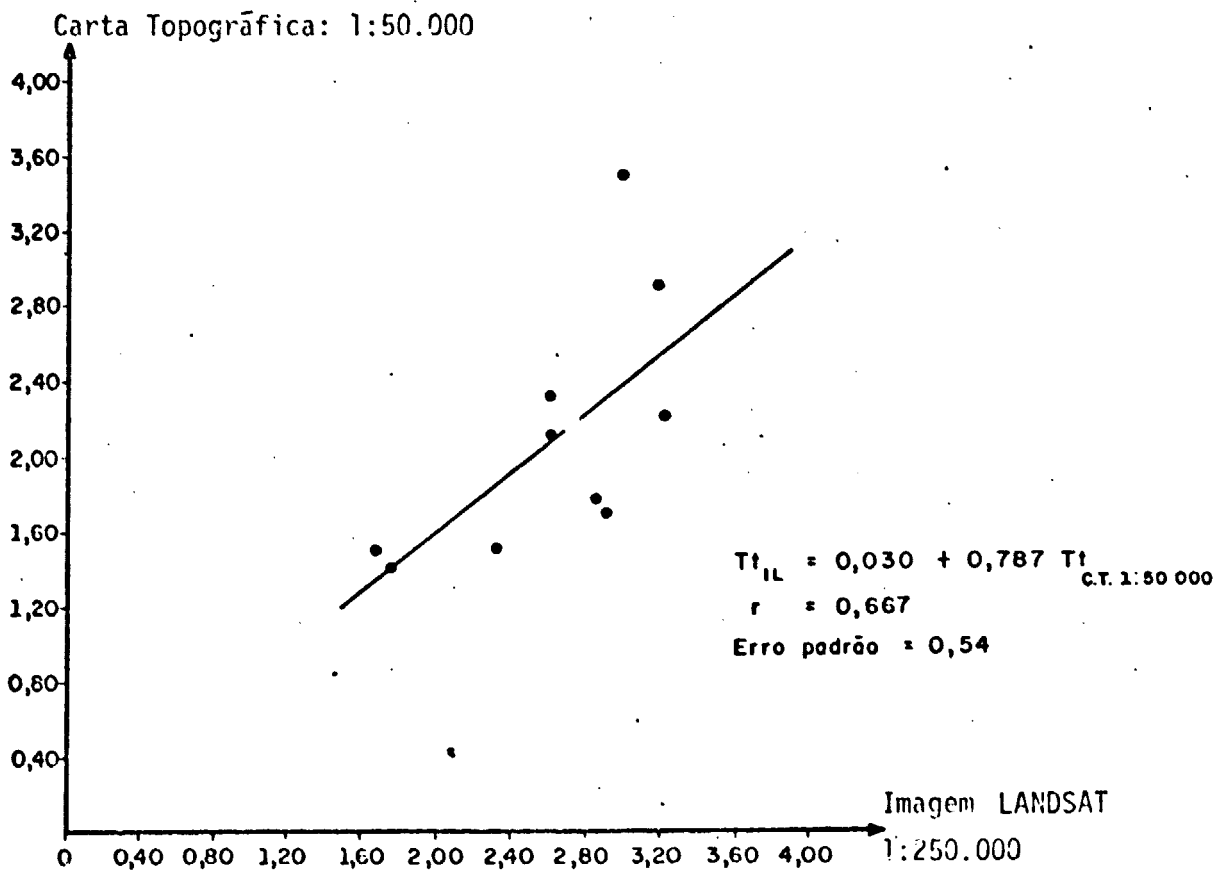


Fig. 4.8 - Relação entre textura topográfica (Tt) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

A Figura 4.8 já mostra maior relação entre os índices de Tt obtidos, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,66. Apesar de haver grande variabilidade nos índices obtidos, pode-se perceber que existe uma certa relação entre eles, pois aos valores altos na imagem LANDSAT correspondem valores altos nas cartas topográficas; esse fato se repete para os valores mais baixos.

Pode-se então concluir que os índices de Tt para a área em questão, levantados a partir da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, dão muito mais informações e são mais precisos do que os dados levantados através das cartas topográficas, nas escalas de 1:50.000 e de 1:250.000.

Comparando-se os valores das cartas topográficas entre si, vê-se que existe uma diferença média total em porcentagem de aproximadamente 647,7% entre os dois documentos, a qual é, na realidade, uma diferença razoável.

Essa diferença é facilmente explicada pelo mesmo motivo abordado anteriormente, pois as imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 dão mais informações sobre as redes hidrográficas do que as cartas topográficas nas escalas de 1:50.000 e 1:250.000.

Como a Tt está relacionada com os índices de Dr e Dd, é fácil de notar que nas cartas topográficas falta informação (riqueza de detalhe) cartas estas que sempre dão valores mais baixos do que os valores encontrados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 para esses índices.

Concluiu-se que o cálculo da textura topográfica da área em questão mostrou valores muito próximas, quando se compara a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com a documentação cartográfica na escala de 1:50.000.

#### 4.1.5 - ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA DA BACIA (ICo)

Segundo Christofolletti (1975), esse índice dá informações para a descrição e interpretação da forma e do processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica.

Através da bibliografia especializada, percebe-se que o processo de medir a forma das bacias hidrográficas apresenta grandes dificuldades para os pesquisadores. Sabe-se também que a forma da bacia hidrográfica é um elemento de grande valia para os estudos morfométricos pois ela está intimamente relacionada com a própria estrutura e com o desenvolvimento da bacia hidrográfica.

As bacias hidrográficas não são elementos estáticos na natureza; estão sempre em constante desenvolvimento e mutação. Por esse motivo, a compreensão da forma das bacias hidrográficas pode trazer informações úteis para a interpretação das mudanças ocorridas em determinada bacia hidrográfica. Se descrever e analisar a forma das bacias hidrográficas constitui procedimento complicado, mais complexa se torna a questão quando se deseja discernir o caminhar do processo evolutivo que ocorreu ou está ocorrendo no desenvolvimento da bacia hidrográfica. Em outras palavras, deve-se procurar verificar se está ocorrendo alongamento ou alargamento em determinada bacia hidrográfica.

Para fornecer respostas a essa indagação, pesquisadores têm utilizado a Rb e a Relação entre o Comprimento e a Área da bacia (Christofolletti e Perez Filho, 1975).

Segundo os autores citados, o ICo pode ser obtido dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área. Este índice é importante porque permite descrever e interpretar a forma e o processo de alargamento ou alongamento das bacias hidrográficas.

Quando o valor do índice de comprimento estiver próximo da unidade ( $ICo < 1,0$ ), a bacia hidrográfica apresentará forma semelhante ao quadrado; quando o valor foi inferior à unidade ( $ICo < 1,0$ ), a bacia terá forma alargada; e quanto maior for o valor acima da unidade, mais alongada será a forma da bacia.

Os dados calculados para o  $ICo$  encontram-se relacionados na Tabela 4.13, na qual se nota claramente que há o predomínio das formas alongadas para as bacias hidrográficas analisadas, todas com índices superiores ao da unidade.

TABELA 4.13

ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA ( $ICo$ )  
CALCULADO ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS  
CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA DA BACIA |                                  |                                  |
|--------|--|----------------------------------|----------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)                | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) |
| 01     | 1,71   | 1,72                             | 2,14                             |
| 02     | 1,31   | 1,30                             | 1,67                             |
| 03     | 1,49   | 1,51                             | 1,93                             |
| 04     | 1,34   | 1,35                             | 1,72                             |
| 05     | 1,27   | 1,19                             | 2,20                             |
| 06     | 1,37   | 1,37                             | 1,68                             |
| 07     | 1,70   | 1,81                             | 2,15                             |
| 08     | 1,22   | 1,22                             | 1,53                             |
| 09     | 1,46   | 1,57                             | 1,87                             |
| 10     | 1,42   | 1,45                             | 1,77                             |

Na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 as bacias hidrográficas que apresentaram os maiores índices, em ordem decrescente, são: Ribeirão Sapê (1,71), Ribeirão Baguaçu (1,70), Ribeirão do Balsamo (1,49) e Córrego do Aracanguã (1,46). Nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 as bacias que apresentaram os maiores índices são: Ribeirão Baguaçu (1,81), Ribeirão Sapê (1,72), Córrego do Aracanguã (1,57) e Ribeirão do Bãlsamo (1,51). Já nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 os maiores índices, em ordem decrescentes, foram alcançados pelas seguintes bacias: Ribeirão da Lontra (2,20), Ribeirão Baguaçu (2,15), Ribeirão Sapê (2,14) e Ribeirão do Bãlsamo (1,93).

Fato interessante a ser notado é que, para essa variável, os dados levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 estão muito próximos em valores dos dados levantados a partir das cartas topográficas na escala de 1:250.000. Nota-se também que os valores encontrados para esse índice, nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, sempre são maiores do que os encontrados para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e para as cartas topográficas na escala de 1:50.000.

A bacia hidrográfica que mais se aproxima da forma quadrática (valores mais próximos da unidade para os três documentos analisados) é a bacia do Ribeirão Azul, com índices iguais a 1,22 para os dados calculados na Imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, 1,22 para os dados da carta topográfica na escala de 1:250.000 e 1,53 para os dados da carta topográfica na escala de 1:50.000.

As bacias que apresentam índices mais afastados da unidade para os três documentos analisados e que devem conseqüentemente, possuir uma forma mais alongada no sentido do seu eixo principal, são: Ribeirão Baguaçu, com índices iguais a 1,70, 1,81 e 2,15, respectivamente para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e para as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000; Ribeirão Sapê com índices iguais a 1,71, 1,72 e 2,14; e Córrego do Barreiro com índices iguais a 1,27, 1,19 e 2,20.

De fato, observando-se a Figura 3.4 nota-se perfeitamente que a bacia do Ribeirão Azul tem uma forma mais próxima de um quadrado, enquanto as bacias do Ribeirão Baguaçu, Ribeirão Sapê e Córrego do Barreiro apresentam formas mais alongadas no sentido do seu eixo principal.

Calculou-se a diferença em porcentagem para  $I_{Co}$ , cujos valores obtidos estão relacionados na Tabela 4.14. Analisando-se a Tabela 4.14 constata-se que é mínima a diferença entre os dados calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e os calculados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000.

TABELA 4.14

ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA DA BACIA ( $I_{Co}$ )

| BACIAS                | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DO ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO E A ÁREA DA BACIA ENTRE A IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E |                               |
|-----------------------|---|-------------------------------|
|                       | CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000)   | CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000) |
| 01                    | -0,6  | -20,0                         |
| 02                    | 0,7   | -21,5                         |
| 03                    | -1,3  | -22,8                         |
| 04                    | -0,7  | -22,0                         |
| 05                    | 6,7   | -42,0                         |
| 06                    | 0,0   | -18,4                         |
| 07                    | -6,0  | -20,9                         |
| 08                    | 0,0   | -20,2                         |
| 09                    | -7,0  | - 7,0                         |
| 10                    | -2,0  | -19,7                         |
| DIFERENÇA MÉDIA TOTAL | $\bar{D} = -1,02\%$   | $\bar{D} = -21,45\%$          |

A diferença média total em porcentagem para esses dois documentos está por volta de -1,02%, enquanto a diferença média total entre os dados levantados através da imagem LANDSAT e das cartas topográficas na escala de 1:50.000 é de aproximadamente -21,4%.

As Figuras 4.9 e 4.10 mostram a relação entre os índices calculados para os três documentos analisados. Na Figura 4.9 vê-se claramente que existe uma relação linear entre os valores calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e os calculados através da carta topográfica na escala de 1:250.000. Os valores concentram-se sempre em torno da reta de regressão e apresentam coeficiente de correlação igual a 0,970, considerado alto.

Carta Topográfica: 1:250.000,

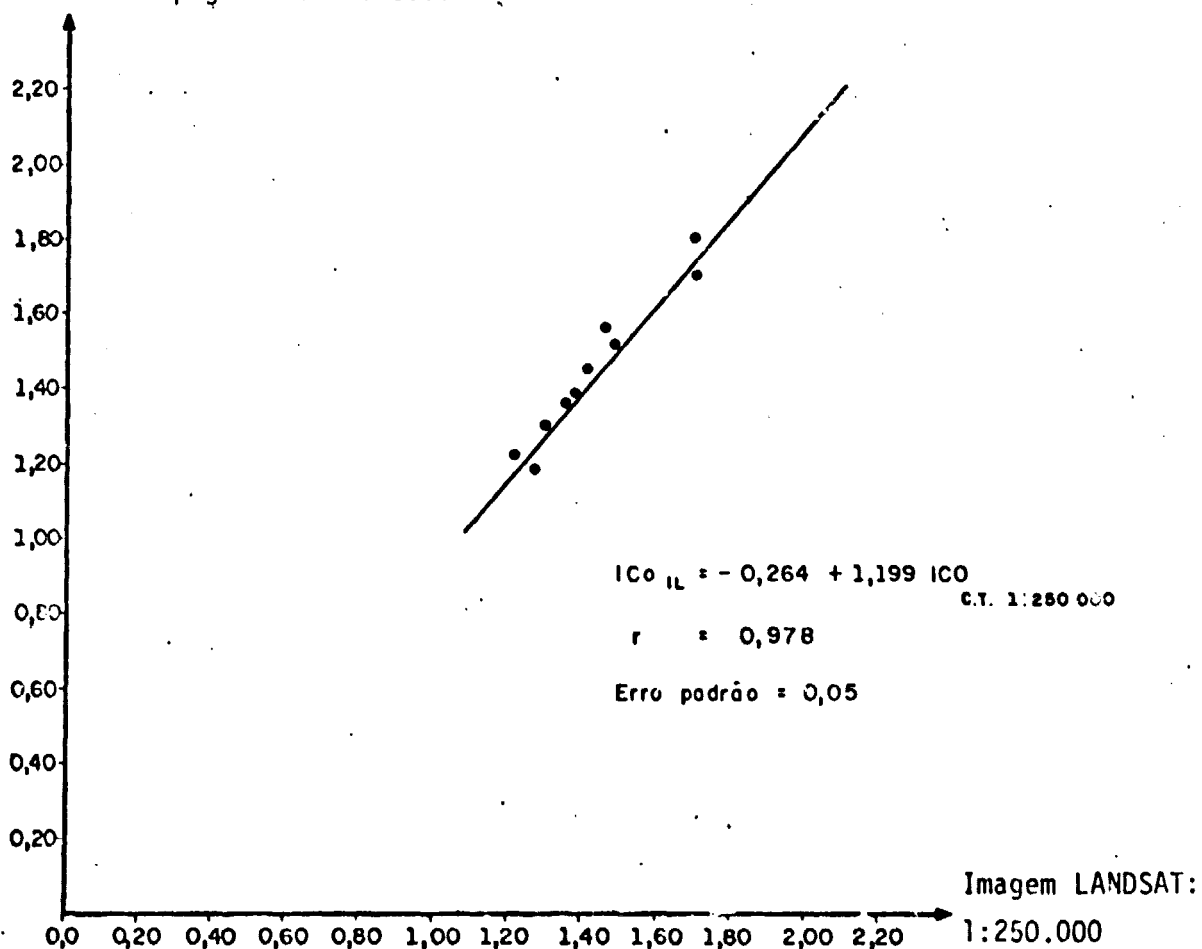


Fig. 4.9 - Relação entre o Índice entre o comprimento e a área da bacia (ICo) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

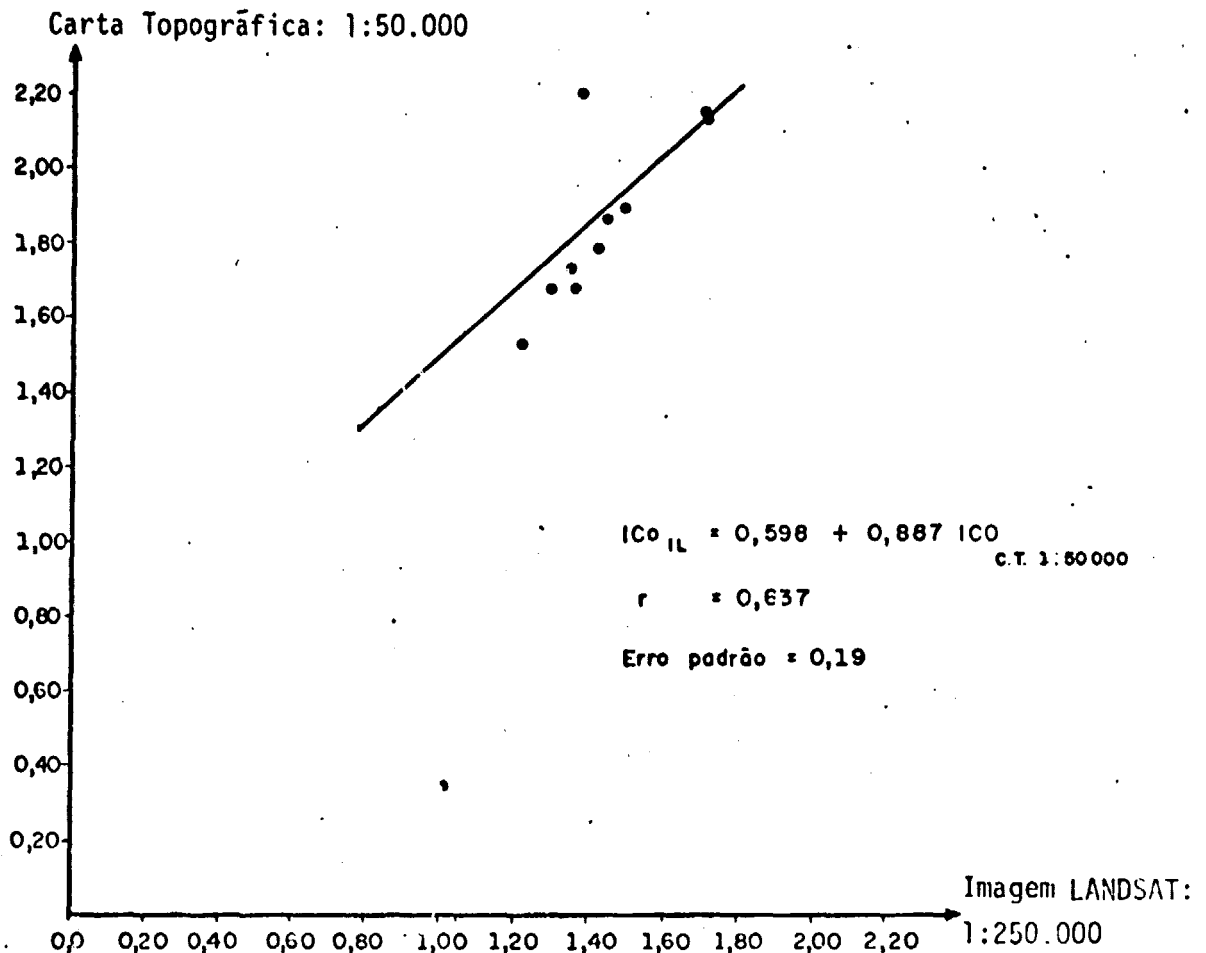


Fig. 4.10 - Relação entre o índice entre o comprimento e a área da bacia (ICo) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Na Figura 4.10 nota-se maior dispersão dos dados, não havendo uma correlação perfeita. Assim, aos valores altos encontrados na carta topográfica na escala de 1:50.000 correspondem valores baixos na imagem LANDSAT, cujos dados se afastam mais da equação de regressão, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,637.

Comparando-se os dados numéricos com a forma das bacias hidrográficas (Figura 3.4), nota-se perfeitamente que os valores obtidos nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 são mais representativos do que os outros documentos.



Observa-se claramente que as bacias analisadas têm uma forma geral bastante alongada: são mais largas nas cabeceiras e vão se estreitando em direção à foz do rio principal. Isso mostra uma perfeita correlação com os dados levantados a partir das cartas topográficas na escala de 1:50.000, pois esses foram os índices que mais se distanciaram da unidade, indicando bacias de forma alongadas.

Desse modo, para essa variável (Ico), considerando-se a área analisada, a carta topográfica na escala de 1:50.000 foi o documento que deu melhor informação, quando comparado com os dados da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e com as cartas topográficas na escala de 1:250.000.

Por outro lado, para essa variável a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e as cartas topográficas na escala de 1:250.000 deram praticamente a mesma informação, sendo que a pequena diferença observada pode ser perfeitamente desprezada.

#### 4.1.6 - ÁREA DA BACIA (A)

Conforme já se disse, a área das bacias hidrográficas entra como elemento indispensável no cálculo de outras variáveis, tais como a densidade da drenagem e o índice entre o comprimento e a área da bacia.

Os dados calculados para as áreas das bacias hidrográficas analisadas encontram-se relacionadas na Tabela 4.15. Analisando-se esses dados, vê-se que não houve muita diferença nos valores obtidos para os três tipos de documentos, apesar de haver grande variação nos números.

Exemplificando-se, vê-se que as bacias hidrográficas que apresentaram os maiores valores em área nas imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 em ordem decrescente, são: Ribeirão Azul (830,64 km<sup>2</sup>), Ribeirão Bagaçu (550,13 km<sup>2</sup>) e Ribeirão Água Parada (489,77 km<sup>2</sup>). As bacias que apresentaram os maiores valores em área nas cartas topográficas na

escala de 1:250.000 são: Ribeirão Azul (837,97 km<sup>2</sup>), Ribeirão Bagaçu (536,14 km<sup>2</sup>) e Ribeirão Água Parada (502,38 km<sup>2</sup>). Nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, as bacias que apresentaram maiores valores em área são: Ribeirão Azul (858,97 km<sup>2</sup>), Ribeirão Bagaçu (562,84 km<sup>2</sup>) e Ribeirão Água Parada (507,64 km<sup>2</sup>).

TABELA 4.15

ÁREA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS (A) CALCULADA ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | ÁREA (km <sup>2</sup> )    |                               |                              |
|--------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT (1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA (1:50.000) |
| 01     | 158,97                     | 159,99                        | 159,24                       |
| 02     | 226,90                     | 213,11                        | 223,67                       |
| 03     | 159,03                     | 149,80                        | 154,95                       |
| 04     | 299,60                     | 294,10                        | 302,75                       |
| 05     | 104,55                     | 101,83                        | 108,87                       |
| 06     | 238,31                     | 235,33                        | 237,84                       |
| 07     | 550,13                     | 536,14                        | 562,84                       |
| 08     | 830,64                     | 837,97                        | 858,97                       |
| 09     | 170,18                     | 150,13                        | 164,93                       |
| 10     | 489,77                     | 502,38                        | 507,64                       |

Como se pode notar, as mesmas bacias apresentam os maiores valores em área, em ordem decrescente, para os três documentos analisados, variando apenas o valor do índice de um documento para outro.

Nas bacias que apresentaram os menores valores, vê-se que a relação também se mantém. Exemplificando-se observa-se que a bacia que apresentou o menor valor em área, para os três documentos analisados, é

a bacia do Córrego do Barreiro, com os valores de 104,55 km<sup>2</sup>, 101,83 km<sup>2</sup> e 108,97 km<sup>2</sup> para a imagem LANDSAT na escala 1:250.000 e cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, respectivamente.

Observa-se também que, para os valores extremos (maior e menor em área), os dados calculados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 são sempre superiores ao levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

Para as bacias de área intermediárias, houve uma variação; para as bacias do Ribeirão Pimenta, Ribeirão Bãlsamo, Ribeirão da Lontra e Córrego do Aracanguã, os valores levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 são superiores aos levantados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000.

Calculou-se a diferença em porcentagem dos valores de área cujos dados obtidos estão listados na Tabela 4.16. Analisando-se esta tabela, nota-se que a diferença em porcentagem entre as bacias é baixa. As maiores diferenças encontradas foram para as bacias do Ribeirão Pimenta e Ribeirão do Bãlsamo, que apresentaram valores de 6,4% e 6,1%, em relação à imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e às cartas topográficas na escala de 1:250.000.

Considerando-se a diferença média total em porcentagem, pode-se verificar que os valores de área calculados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 estão mais próximos dos valores calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, apresentando uma diferença média igual a -0,7%, enquanto entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000 a diferença média é igual a 3,0%.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

TABELA 4.16

ÁREA DAS BACIAS (A)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DA ÁREA DAS BACIAS<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|--|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)   | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | -0,6   | 0,2                             |
| 02                          | 6,4  | 1,4                             |
| 03                          | 6,1  | 2,6                             |
| 04                          | 1,8  | -1,0                            |
| 05                          | 2,6  | -3,9                            |
| 06                          | 1,2  | 0,1                             |
| 07                          | 2,6  | -2,2                            |
| 08                          | -0,8   | -3,2                            |
| 09                          | 13,3   | 3,1                             |
| 10                          | -2,5   | -3,5                            |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 3,0\%$  | $\bar{D} = -0.7\%$              |

As Figuras 4.11 e 4.12 mostram o relacionamento dos valores em área, calculados para os três documentos analisados. Pode-se ver perfeitamente que para essa variável os três documentos deram valores altamente correlacionados, e os dados apresentam uma variação linear concentrando-se junto à equação de regressão. Apresentam também altos coeficientes de correlação que são iguais a 0,999 para ambos os casos, o que mostra que os valores estão altamente correlacionados.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

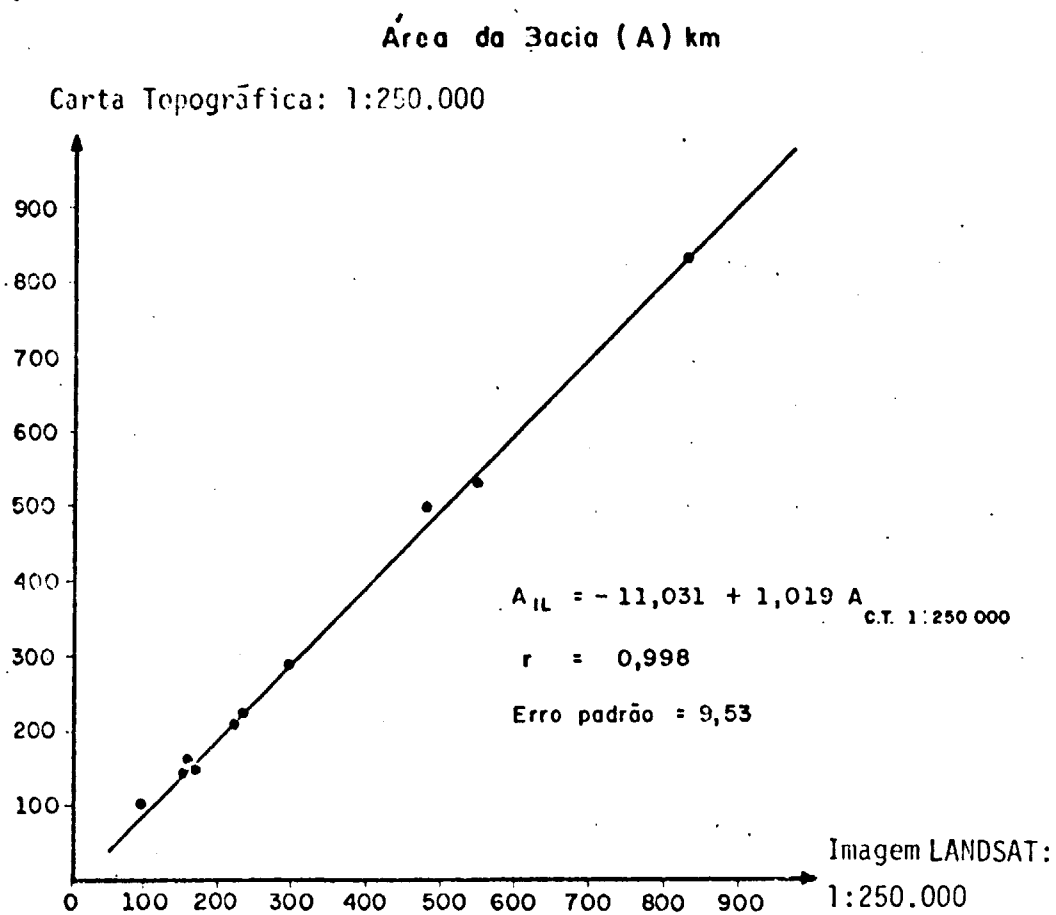


Fig. 4.11 - Relação entre a área da bacia (A) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

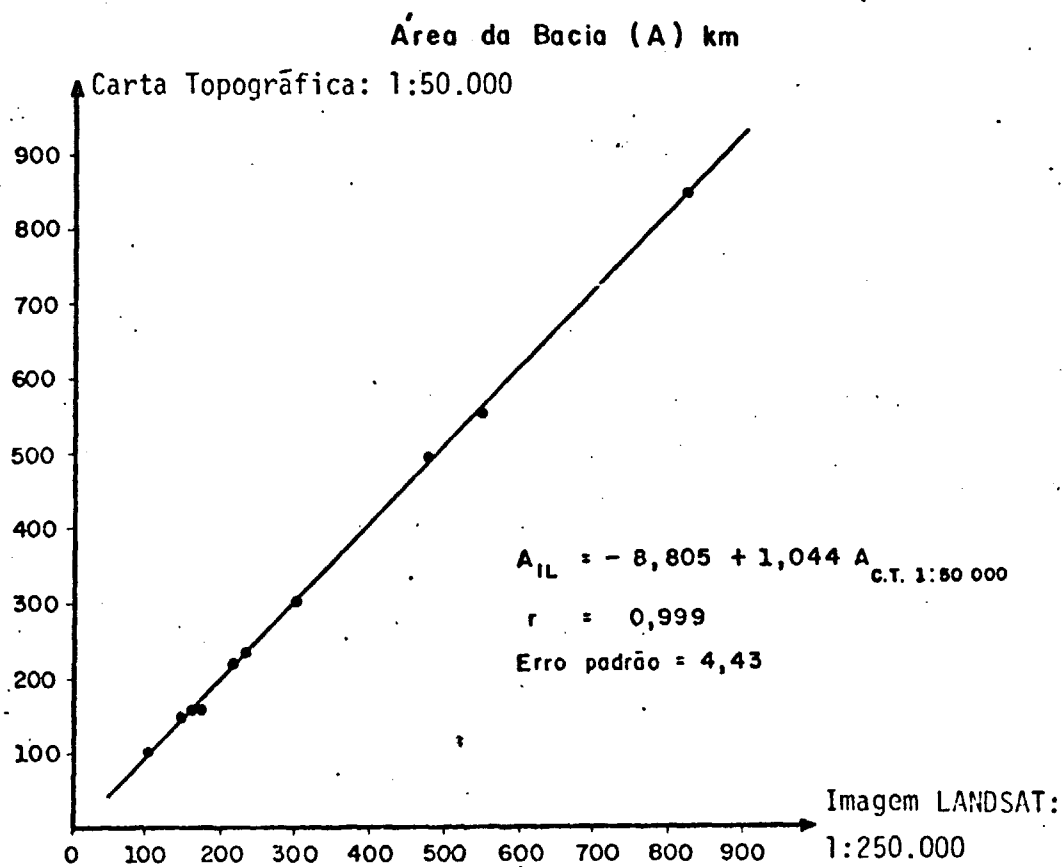


Fig. 4.12 - Relação entre a área da bacia (A) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Conclui-se que, no levantamento das áreas das bacias hidrográficas para a região estudada, tanto a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 como as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000 dão praticamente os mesmos resultados.

As pequenas diferenças encontradas podem ser desprezadas, pois no cálculo de área sempre aparece pequenos erros aleatórios, que no fim são compensados. É por isso que os resultados levantados em três tipos diferentes de documentos evidenciam uma alta correlação linear, mostrando praticamente os mesmos valores.

#### 4.1.7 - PERÍMETRO (P)

É interessante tecer algumas considerações a respeito do perímetro das bacias hidrográficas, pois ele também entra no cálculo de outros parâmetros quantitativos.

O método empregado para calcular o perímetro já foi descrito anteriormente, e os dados levantados estão inseridos na Tabela 4.17. Analisando-se esta tabela, vê-se que os três documentos apresentam valores muito próximos para essa variável. As maiores bacias em área deram logicamente os maiores valores para o perímetro: o mesmo acontece com as bacias menores. Exemplificando-se, cita-se as bacias que apresentaram os maiores valores de perímetro, em ordem decrescente, para os três documentos analisados, que são: Ribeirão Azul, com valores iguais a 150,00 km, 145,00 km e 148,00 km, respectivamente para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e para as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000; Ribeirão Baguaçu com valores iguais a 135,00 km, 130,00 km e 134,00 km; e Ribeirão Água Parada com valores iguais a 112,50 km, 102,50 km e 113,00 km.

TABELA 4.17

PERÍMETRO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS (P) CALCULADO ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT  
(1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | PERÍMETRO (P) (km)            |                                  |                                 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 70,00                         | 67,50                            | 69,00                           |
| 02     | 70,00                         | 62,50                            | 67,00                           |
| 03     | 62,50                         | 57,50                            | 60,00                           |
| 04     | 87,50                         | 80,00                            | 79,00                           |
| 05     | 55,00                         | 52,50                            | 53,00                           |
| 06     | 72,50                         | 72,50                            | 73,00                           |
| 07     | 135,00                        | 130,00                           | 134,00                          |
| 08     | 150,00                        | 145,50                           | 148,00                          |
| 09     | 62,00                         | 55,50                            | 60,00                           |
| 10     | 112,50                        | 102,50                           | 113,00                          |

Observa-se também que os valores de perímetro calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 foram sempre superiores aos dados levantados nas cartas topográficas, tanto na escala de 1:250.000 como na escala de 1:50.000. Apenas para a bacia do Ribeirão Água Parada é que o valor calculado através da carta topográfica na escala de 1:50.000 foi superior ao da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, sendo respectivamente igual a 113,00 km para a carta topográfica na escala de 1:50.000 contra 112,50 km para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

Outro fato que se nota é que os valores calculados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 estão muito próximos dos valores encontrados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e são sempre superiores aos valores da carta topográfica na escala de 1:250.000.



Calcularam-se as diferenças em porcentagem para os valores de perímetro, cujos resultados obtidos estão relacionados na Tabela 4.18. Analisando-se essa tabela, nota-se que as diferenças individuais entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e carta topográfica na escala de 1:250.00 são sempre superiores aos valores de diferença entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e carta topográfica na escala de 1:50.000.

TABELA 4.18

PERÍMETRO (P)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DO PERÍMETRO DAS BACIAS<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 3,7   | 1,4                             |
| 02                          | 12,0  | 4,4                             |
| 03                          | 8,7   | 4,2                             |
| 04                          | 9,3   | 10,7                            |
| 05                          | 4,7   | 3,7                             |
| 06                          | 0,0   | -0,7                            |
| 07                          | 3,8   | 0,7                             |
| 08                          | 3,4   | 1,3                             |
| 09                          | 11,7  | 3,3                             |
| 10                          | 9,7   | -0,4                            |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 6,7\%$   | $\bar{D} = 2,9\%$               |

Comparando-se as diferenças médias totais em porcentagem observa-se que os valores entre os dados da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e a carta topográfica na escala de 1:250.000 apresentam o do bro da diferença entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e carta topo gráfica na escala de 1:50.000. Disso conclui-se que, apesar de pequena

diferença entre os dados individuais, houve uma maior aproximação dos valores calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com os dados calculados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000.

As Figuras 4.13 e 4.14 mostram a relação entre os valores de perímetro calculados para os três documentos. No primeiro caso (Figura 4.13) vê-se que os dados apresentam uma relação linear, situando-se junto à reta de regressão, com um coeficiente de correlação igual a 0,996. A Figura 4.14 também mostra uma alta correlação entre os dados, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,957.

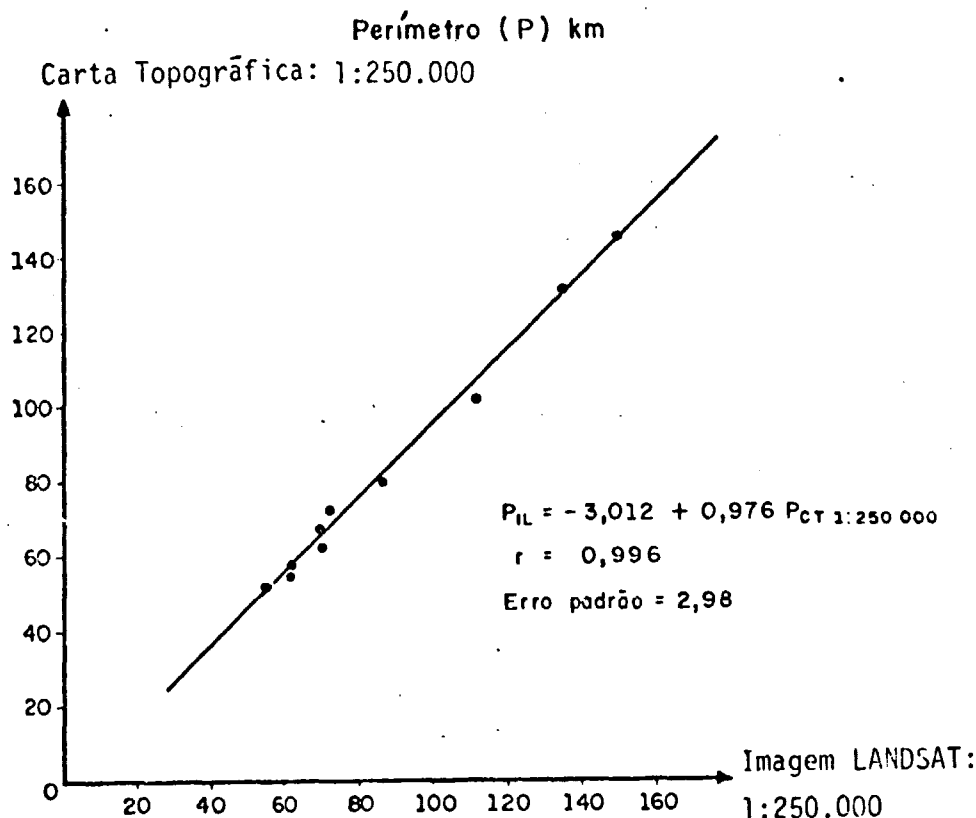


Fig. 4.13 - Relação entre o perímetro da bacia (P) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

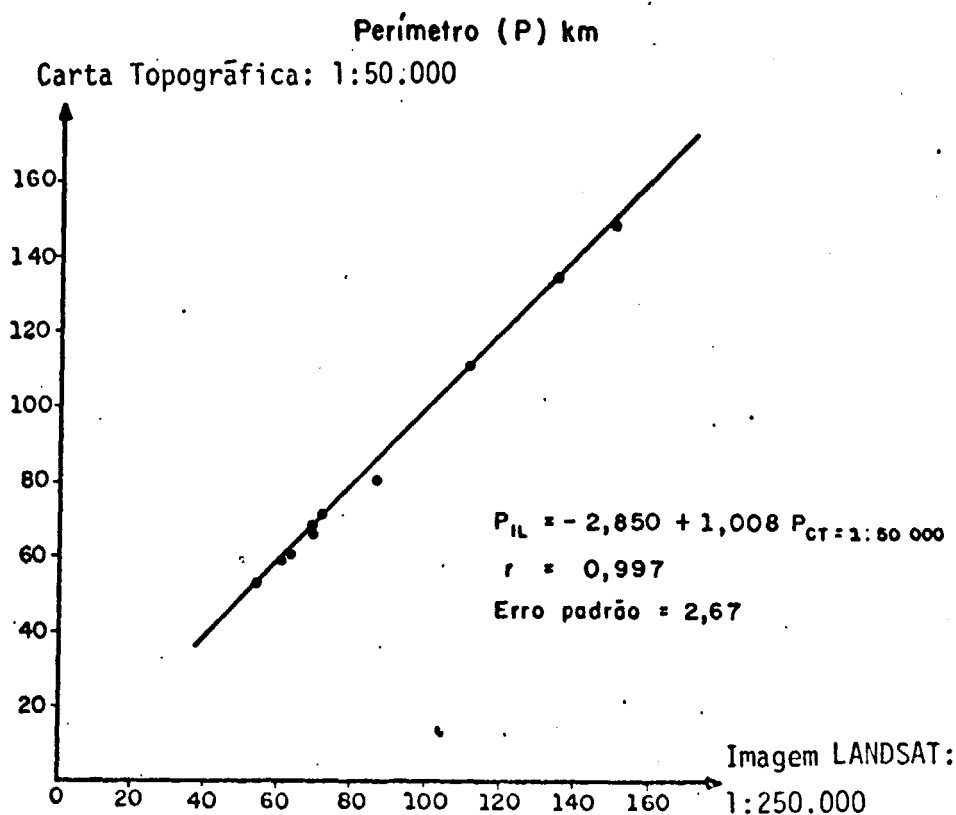


Fig. 4.14 - Relação entre o perímetro da bacia (P) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Analisando-se esses resultados, conclui-se que a variável perímetro para a área considerada pode ser perfeitamente calculada através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, pois mostra valores semelhantes aos calculados através das cartas topográficas na escala de 1:50.000.

Uma grande vantagem das imagens LANDSAT sobre as cartas topográficas na escala de 1:50.000, para o levantamento dessa variável, é que é muito mais fácil e rápido traçar o perímetro das bacias hidrográficas nas imagens do que nas cartas topográficas nessa escala.

Enquanto nas imagens orbitais do satélite LANDSAT tem-se sempre uma visão global (de conjunto) de todas as bacias hidrográficas e seus afluentes, dentro de uma determinada área, nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 é preciso, às vezes, unir duas ou mais folhas topográficas para poder delimitar uma bacia hidrográfica. Isso implica di

retamente maior perda de tempo, gasto de material (papel "ultraphan"), aumento do serviço e maior disponibilidade de cartas topográficas da área. Quanto maior for o tamanho da bacia hidrográfica, mais trabalhoso será traçar o seu perímetro, pois é preciso unir várias folhas, o que ocupa grande espaço e torna enfadonho o serviço.

#### 4.1.8 - COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL (L)

Em cada bacia selecionada mediu-se o comprimento do rio principal. Considera-se rio principal aquele canal que apresentou o maior diâmetro topológico e na última bifurcação escolheu-se como critério o canal que apresentou o maior comprimento linear. Segundo Werner and Smart (1973), as bacias hidrográficas podem ser classificadas topologicamente considerando-se apenas seu diâmetro, que, do ponto de vista topológico, é definido como o maior comprimento da trajetória.

O rio principal tem grande importância dentro de sua bacia hidrográfica. Geralmente é o rio que apresenta maior expressão dentro do sistema. É para ele que se dirigem os tributários (afluentes), sendo o responsável pela drenagem de toda a área. Por isso está intimamente relacionado com a área da bacia, pois quanto maior a área, maior quantidade de precipitação ("input") ela pode receber e toda essa energia é transferida através dos afluentes, para o rio principal, aumentando sua capacidade erosiva e modeladora da superfície.

Os dados medidos para o comprimento do rio principal, através dos documentos analisados, estão inseridos na Tabela 4.19. Observando-se essa tabela, pode-se ver que, apesar de haver uma grande variabilidade nos valores medidos, as diferenças entre eles não são acentuadas. As duas maiores diferenças apontadas foram: a) para a bacia do Ribeirão do Bálamo, que na carta topográfica na escala de 1:250.000 apresentou 25,00 km de comprimento, enquanto na carta topográfica na escala de 1:50.000 esse mesmo rio apresentou o valor de 31,00 km, dando uma dife

rença aproximada de 6,0 km; b) para a bacia do Ribeirão Pimenta que na imagem LANDSAT apresentou um valor de 27,50 km contra 32,50 km na carta topográfica na escala de 1:50.000, dando uma diferença de aproximadamente 5,0 km.

TABELA 4.19

COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL (L) MEDIDO ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | COMPRIMENTO DO RIO PRINCIPAL (km) |                                  |                                 |
|--------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)     | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 30,00                             | 30,00                            | 34,00                           |
| 02     | 27,50                             | 27,50                            | 32,50                           |
| 03     | 30,00                             | 25,00                            | 31,00                           |
| 04     | 40,00                             | 37,50                            | 41,00                           |
| 05     | 25,00                             | 25,00                            | 27,00                           |
| 06     | 32,50                             | 30,00                            | 34,50                           |
| 07     | 62,40                             | 62,40                            | 65,00                           |
| 08     | 55,00                             | 55,00                            | 55,00                           |
| 09     | 27,50                             | 27,50                            | 27,00                           |
| 10     | 47,50                             | 50,00                            | 51,15                           |

Por outro lado, houve grande número de coincidência de medidas, e o destaque fica para a bacia do Ribeirão Azul, que, nos três documentos analisados, apresentou a mesma medida, isto é, 55,00 km de comprimento.

Chama-se a atenção para o problema de trabalhar com esse tipo de medida, quer se use a imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 ou cartas topográficas em diferentes escalas.

Como se sabe, os rios não são linhas retas, apresentando uma série enorme de curvas e sinuosidades. Sabe-se também que o método mais comum de medir comprimento de rios e canais é através do emprego do curvímetro. Assim sendo, é praticamente impossível seguir à risca todas as sinuosidade dos rios. Aparece então um determinado tipo de erro na medida, que é difícil de ser evitado ou mesmo corrigido.

Mas no final, como esses erros se compensam, as medidas obtidas através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000 dão quase o mesmo resultado, e suas pequenas diferenças podem ser perfeitamente desprezadas.

Então, sempre que há uma certa compensação no erro, as medidas, quer sejam feitas através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 ou nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, tendem no fim para uma certa uniformidade, apresentando valores muito próximos, que foram constatados através dos cálculos efetuados.

As Figura 4.15 e 4.16 mostram a relação entre os valores calculados para os diferentes documentos analisados. Pode-se observar, em ambos os gráficos, que esses valores mostram alta correlação linear com os dados que se concentram junto à reta de regressão e apresentam coeficientes de correlação iguais a 0,992.

Por isso conclui-se que esse tipo de medida está sempre sujeito a erros aleatórios, mas o valor final sempre será semelhante, quer a medida seja feita através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 ou das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

ORIGINAL PAGE 13  
OF POOR QUALITY

Comprimento do Rio Principal (L) km

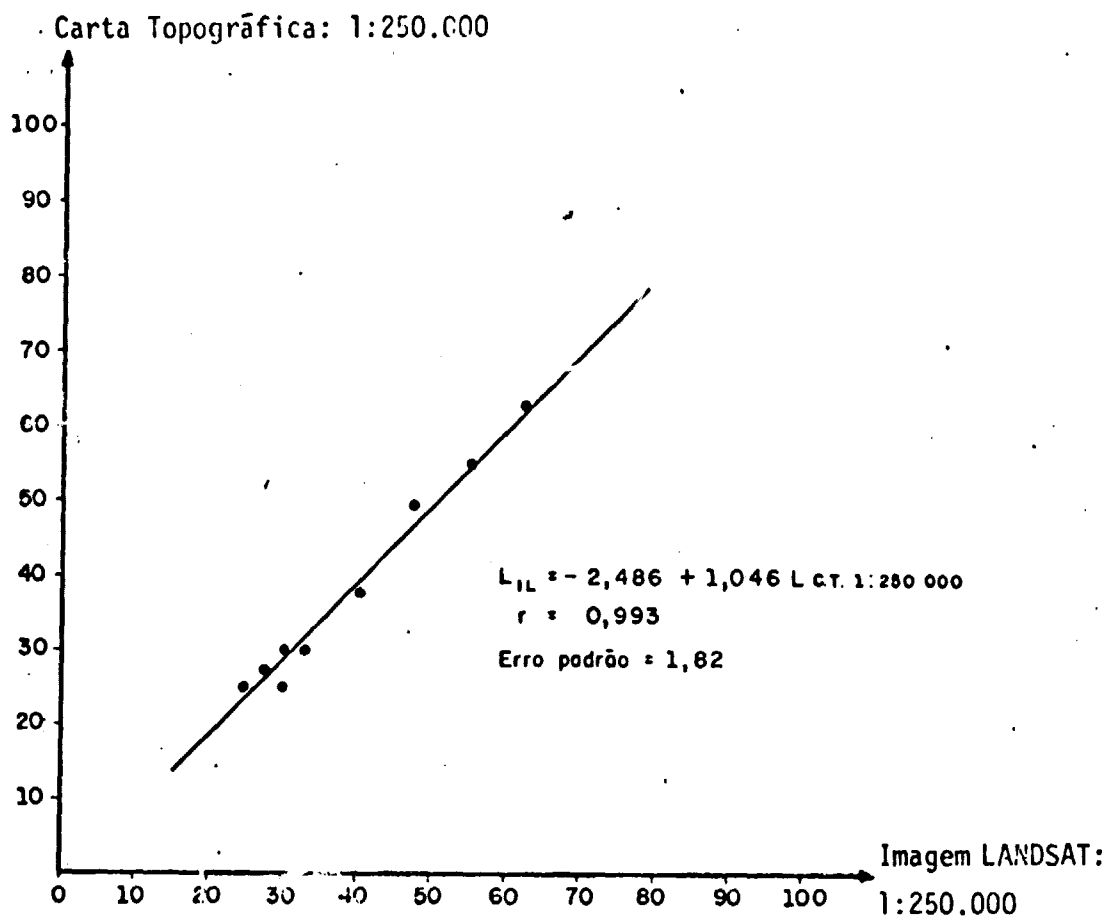


Fig. 4.15 - Relação entre o comprimento do rio principal (L) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

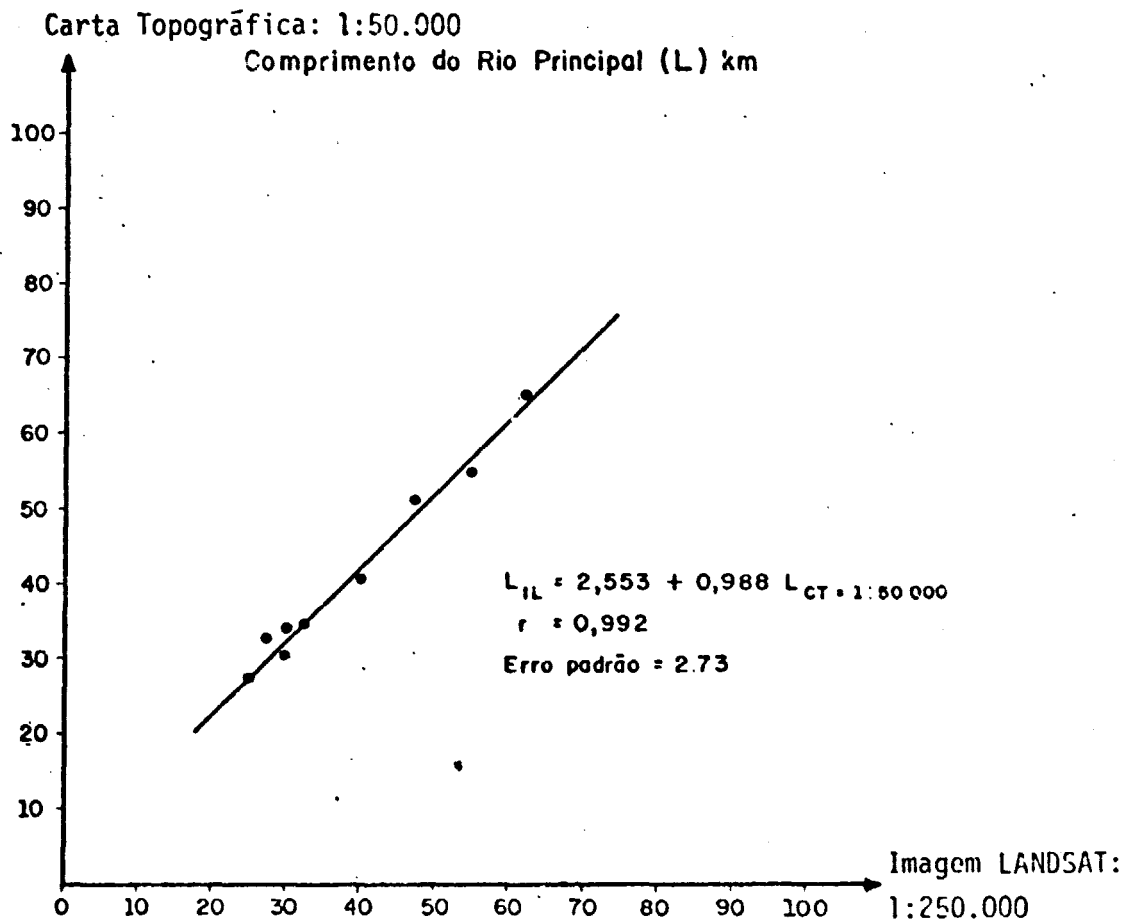


Fig. 4.16 - Relação entre o comprimento do rio principal (L) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).



#### 4.1.9 - COMPRIMENTO DOS CANAIS DE PRIMEIRA E DE SEGUNDA ORDEM ( $L_{1,2}$ )

Nessa seção analisar-se-á o comprimento dos canais de primeira e de segunda ordem para os três documentos em questão.

Os canais de primeira ordem, juntamente com sua área de drenagem, podem ser considerados a célula unitária de qualquer bacia hidrográfica.

O comprimento médio dos canais de determinada ordem é uma propriedade dimensional que revela as características do tamanho dos canais componentes da drenagem.

A dimensão comprimento, usada isoladamente ou em conjunto com outras duas variáveis dimensionais (massa e tempo), podem fornecer subsídios suficiente para estudar e definir todas as propriedades geométricas e mecânicas das bacias hidrográficas.

A medida do comprimento dos canais pode ser feita diretamente sobre a imagem LANDSAT e sobre as cartas topográficas, pois esses documentos apresentam as bacias hidrográficas projetadas numa dimensão menor, em função da escala utilizada. Mede-se essa dimensão com aparelhos próprios, tais como régua, curvímeter etc.

Para calcular o comprimento médio dos canais de determinada ordem, divide-se o comprimento total dos segmentos pelo número de canais daquela ordem.

Miller(1953), tratando cada canal como uma variável estatística, estudou a distribuição de frequência dos segmentos de determinada ordem e observou que a distribuição de frequência para os comprimentos dos canais de primeira e de segunda ordem eram fortemente desviados para a direita.

Schumm (1956) corrigiu esse desvio usando o logaritmo do comprimento, e recomenda que a transformação em logaritmo seja feita antes do agrupamento em classes.

A soma total dos comprimentos dos canais de primeira e de segunda ordem encontram-se relacionados nas Tabelas 4.20 e 4.21, respectivamente.

Analisando-se a Tabela 4.20 que trata dos comprimentos totais dos canais de primeira ordem, pode-se observar claramente que existe uma diferença muito grande entre os dados levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e os levantados através das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

TABELA 4.20

COMPRIMENTO TOTAL DOS CANAIS DE PRIMEIRA ORDEM ( $L_1$ ) MEDIDO ATRAVÉS  
DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS  
(1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | COMPRIMENTO TOTAL DOS CANAIS DE 1ª ORDEM (km) |                                  |                                 |
|--------|---|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)                 | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 137,50  | 41,25                            | 115,70                          |
| 02     | 231,20  | 59,00                            | 128,80                          |
| 03     | 253,00  | 46,00                            | 98,20                           |
| 04     | 312,30  | 101,25                           | 208,30                          |
| 05     | 115,50  | 35,75                            | 96,40                           |
| 06     | 231,50  | 81,25                            | 258,50                          |
| 07     | 442,75  | 155,25                           | 249,10                          |
| 08     | 488,40  | 263,20                           | 448,90                          |
| 09     | 99,25   | 38,25                            | 81,10                           |
| 10     | 395,25  | 155,50                           | 367,80                          |

TABELA 4.21

COMPRIMENTO TOTAL DOS CANAIS DE 2ª ORDEM ( $L_2$ ), MEDIDO ATRAVÉS DA  
IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS  
(1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | COMPRIMENTO TOTAL DOS CANAIS DE 2ª ORDEM (km) |                                  |                                 |
|--------|---|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)                 | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 51,70   | 10,25                            | 43,50                           |
| 02     | 81,75   | 16,25                            | 47,30                           |
| 03     | 66,75   | 18,75                            | 28,30                           |
| 04     | 110,25  | 27,35                            | 91,30                           |
| 05     | 48,50   | 7,00                             | 46,20                           |
| 06     | 89,25   | 21,00                            | 123,40                          |
| 07     | 147,00  | 38,75                            | 124,80                          |
| 08     | 193,25  | 61,75                            | 153,60                          |
| 09     | 40,75   | 17,50                            | 24,30                           |
| 10     | 174,20  | 30,00                            | 171,40                          |

Essa diferença aumenta mais ainda quando se comparam apenas os dados levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com os da carta topográfica na escala de 1:250.000.

Isso mostra claramente que aparece um número maior de pequenos canais quando se restitui uma bacia hidrográfica a partir das imagens LANDSAT na escala de 1:250.000.

Por outro lado, o número de pequenos canais, que geralmente são as cabeceiras ou nascentes, diminui consideravelmente quando se restitui uma bacia hidrográfica a partir de cartas topográficas, e principalmente quando se considera a escala de 1:250.000.

Esse fato já foi explicado anteriormente, pois, como se sabe, na confecção das cartas topográficas sempre há falta de informação com respeito aos pequenos canais e riachos que descem das partes mais elevadas. Basta examinar com atenção uma carta topográfica na escala de 1:50.000, considerada uma carta de detalhe, para notar perfeitamente o grande número de reentrâncias (maior proximidade das curvas de nível), onde necessariamente deve existir um pequeno curso d'água que, na carta, geralmente não está assinalado.

Deste modo é fácil compreender porque os valores de comprimento dos canais de primeira ordem são tão superiores aos valores de comprimento levantados através das cartas topográficas em ambas as escalas.

Para melhor visualização apresenta-se a Tabela 4.22 que mostra da diferença em porcentagem para os valores de comprimento de canais de primeira ordem, calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Analisando-se esta tabela, vê-se que a diferença entre os dados levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e na carta topográfica na escala de 1:250.000 é muito superior às diferenças entre os dados levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e nas cartas topográficas na escala de 1:50.000.

A menor diferença em porcentagem entre a imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e a carta topográfica na escala de 1:250.000 é de 84,2% e refere-se à bacia do Ribeirão Azul. Para as outras bacias as diferenças foram sempre acima de 100%; sendo que verificou-se a maior discrepância na bacia do Ribeirão Pimenta, com um valor de 291,9%.

Relacionando-se a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com as cartas topográficas na escala de 1:50.000, vê-se que a maior porcentagem de diferença se verificou na bacia do Ribeirão Azul, diferença esta de aproximadamente 79,5%.

TABELA 4.22

COMPRIMENTO DE CANAIS DE 1ª ORDEM (L<sub>1</sub>)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DO COMPRIMENTO DOS CANAIS DE<br>1ª ORDEM ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 233,3   | 18,8                            |
| 02                          | 291,9   | 79,5                            |
| 03                          | 232,6   | 55,8                            |
| 04                          | 208,4   | 49,9                            |
| 05                          | 223,1   | 19,8                            |
| 06                          | 184,9   | -10,4                           |
| 07                          | 185,2   | 77,7                            |
| 08                          | 84,2  | 0,1                             |
| 09                          | 159,2   | 22,3                            |
| 10                          | 154,2   | 7,5                             |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 195,7\%$   | $\bar{D} = 32,1\%$              |

Comparando-se as diferenças de porcentagens médias totais, vê-se que entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.00 verificou-se uma taxa de diferença, por volta de 195,7%, enquanto entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:50.000 essa diferença ficou por volta de 32.1%.

Isso prova que quando se restitui uma bacia hidrográfica a partir das imagens LANDSAT na escala de 1:250.00 para essa área de estudo, aparece sempre um número muito maior de pequenos canais do que quando se restitui uma bacia hidrográfica a partir de cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Passando-se agora para o comprimento dos canais de segunda ordem, vê-se que o mesmo fato se repete, isto é, os valores calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 são sempre superiores aos calculados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 e 1:50.000. Do mesmo modo, os valores calculados através das cartas topográficas na escala de 1:50.000 estão muito mais próximos dos valores calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 do que os valores das cartas topográficas na escala de 1:250.000.

A bacia do Ribeirão da Lontra foi a única que apresentou um valor maior para o comprimento dos canais de segunda ordem na escala de 1:50.00, quando comparada com os outros dois documentos analisados. Assim, tem-se o valor de 127,40 km para essa bacia, calculado nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, contra 89,35 km para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e 21,00 km para as cartas topográficas na escala de 1:250.000.

Calcula-se também a diferença em porcentagem para esses valores, cujos dados se encontram relacionados na Tabela 4.23. Analisando-se esta tabela nota-se que para os comprimentos dos canais de segunda ordem houve muito maior diferença em porcentagem entre os dados calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e a carta topográfica na mesma escala. Para valores calculados na carta topográfica na escala de 1:50.00 as diferenças já são menores; apenas as bacias do Ribeirão do Bãlsamo, Ribeirão Pimenta e Córrego do Aracanguã apresentaram valores mais elevados, iguais a 131,7%, 72,8% e 67,6%, respectivamente.

As diferenças médias totais estão por volta de 34,4% entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:50.000 e 329,4% entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000.

TABELA 4.23

COMPRIMENTO DOS CANAIS DE 2ª ORDEM ( $L_2$ )

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DO COMPRIMENTO DOS CANAIS DE 2ª ORDEM ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|--|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)   | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 404,4  | 18,8                            |
| 02                          | 403,1  | 72,8                            |
| 03                          | 256,0  | 131,7                           |
| 04                          | 336,0  | 30,6                            |
| 05                          | 592,9  | 4,9                             |
| 06                          | 325,0  | -27,6                           |
| 07                          | 150,2  | 17,7                            |
| 08                          | 212,9  | 25,8                            |
| 09                          | 132,8  | 67,6                            |
| 10                          | 480,6  | 1,6                             |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 329,4$  | $\bar{D} = 34,4$                |

Comparando-se as Tabela 4.22 e 4.23 vê-se que, conforme aumentou o número da ordem dos canais, também aumentou o valor da diferença entre os dados calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e os calculados através das cartas topográficas nas diferentes escalas. Ainda observando-se essas diferenças, nota-se perfeitamente que para os canais de segunda ordem houve muito maior diferença entre valores da imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e os valores calculados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000. Essa diferença média total passou de 195,7%, entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e carta topográfica na escala de 1:250.000 nos canais de primeira ordem, para 329,4% nos canais de segunda ordem, enquanto a diferença total em porcentagem da imagem LANDSAT em relação à carta topográfica na escala de 1:50.000, passou de 32,1% para 34,4%.

Observa-se também que para o comprimento dos canais da segunda ordem a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 deu melhores informações do que as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Passa-se agora a analisar o comprimento médio dos canais de primeira ordem, cujos dados calculados se encontram relacionados na Tabela 4.24. Analisando-se esta tabela, percebe-se claramente que também existe grande diferença entre esses valores. Os canais levantados a partir da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 apresentam sempre os menores comprimentos médios, quando comparados com os valores das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000. Vê-se também que os dados obtidos através das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 apresentam valores mais elevados quando comparados com os outros dois documentos.

TABELA 4.24

COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE PRIMEIRA ORDEM ( $L_1$ ) CALCULADO ATRAVÉS  
DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS  
(1:250.000 e 1:50.000)

| BACIAS | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE 1ª ORDEM (km) |                                  |                                 |
|--------|---|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)                 | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 0,86  | 4,58                             | 1,25                            |
| 02     | 0,83  | 5,36                             | 1,09                            |
| 03     | 0,81  | 3,54                             | 1,38                            |
| 04     | 0,70  | 4,82                             | 0,86                            |
| 05     | 0,85  | 3,57                             | 0,67                            |
| 06     | 0,76  | 3,87                             | 0,65                            |
| 07     | 1,05  | 4,31                             | 1,02                            |
| 08     | 1,24  | 4,35                             | 1,18                            |
| 09     | 1,23  | 3,82                             | 1,33                            |
| 10     | 0,93  | 5,55                             | 0,90                            |



Observa-se que o maior valor de comprimento médio da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 está por volta de 1,24 km (Ribeirão Azul), enquanto para a carta topográfica na escala de 1:250.000 encontra-se valores médios de até 5,5 km, como é o caso da bacia do Ribeirão Água Parada. Para as cartas topográficas na escala de 1:50.000, o maior valor do comprimento médio encontrado foi o da bacia do Ribeirão do Bál<sup>o</sup> samo, com um valor igual a 1,35 km, que não está muito distante do valor máximo encontrado para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, que é igual a 1.24 km.

Isso mostra claramente que as bacias hidrográficas levantadas na imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 apresentam maior riqueza de detalhe (Figura 3.4) do que as bacias levantadas nas cartas topográficas na escala de 1:250.000.

Esse fato é perfeitamente compreensível, pois quando se analisam as cartas topográficas na escala de 1:250.000, sente-se maior probreza no traçado da hidrografia nessas cartas, quando comparadas com a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e com as cartas topográficas na escala de 1:50.000.

Calculando-se a diferenças em porcentagem desses valores (Tabela 4.25), pode-se observar que a diferença média total em porcentagem entre a imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e as cartas topográficas na escala de 1:250.000 é de aproximadamente -78,3%, enquanto a diferença média total em porcentagem entre a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e as cartas topográficas na escala de 1:50.000 fica por volta de -6,7%.

Um outro fato que se observa com respeito ao comprimento do canais de primeira ordem é que, quando se elabora a distribuição de frequência desses valores, nota-se um acúmulo dos dados para os menores, o que dá uma distribuição sensivelmente desviada para a direita, conforme verificação de Miller (1953).

TABELA 4.25

COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE PRIMEIRA ORDEM ( $\bar{L}_1$ )

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DO COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE<br>1ª ORDEM ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | -81,2   | -30,6                           |
| 02                          | -84,5   | -23,8                           |
| 03                          | -77,1   | -41,3                           |
| 04                          | -85,5   | -18,6                           |
| 05                          | -76,2   | 26,7                            |
| 06                          | -80,4   | 16,9                            |
| 07                          | -75,6   | 2,9                             |
| 08                          | -71,5   | 5,1                             |
| 09                          | -67,8   | - 7,5                           |
| 10                          | -83,2   | 3,3                             |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = -78,2\%$   | $\bar{D} = -6,7\%$              |

Quanto maior for o número de canais em relação a ordem e menor o valor em comprimento desses canais, maior será a concentração dos dados nas classes de valores menores, o que dá uma curva totalmente assimétrica.

Para ilustrar esse fato, foi feita a distribuição de frequência dos canais de primeira ordem levantados a partir das imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 e das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000 (Figuras 4.17, 4.18 e 4.19).

Observando-se os gráficos de distribuição de frequência, nota-se perfeitamente que são bastante assimétricos à direita, apresentando maior porcentagem de valores nas classes menores.

- 134 -

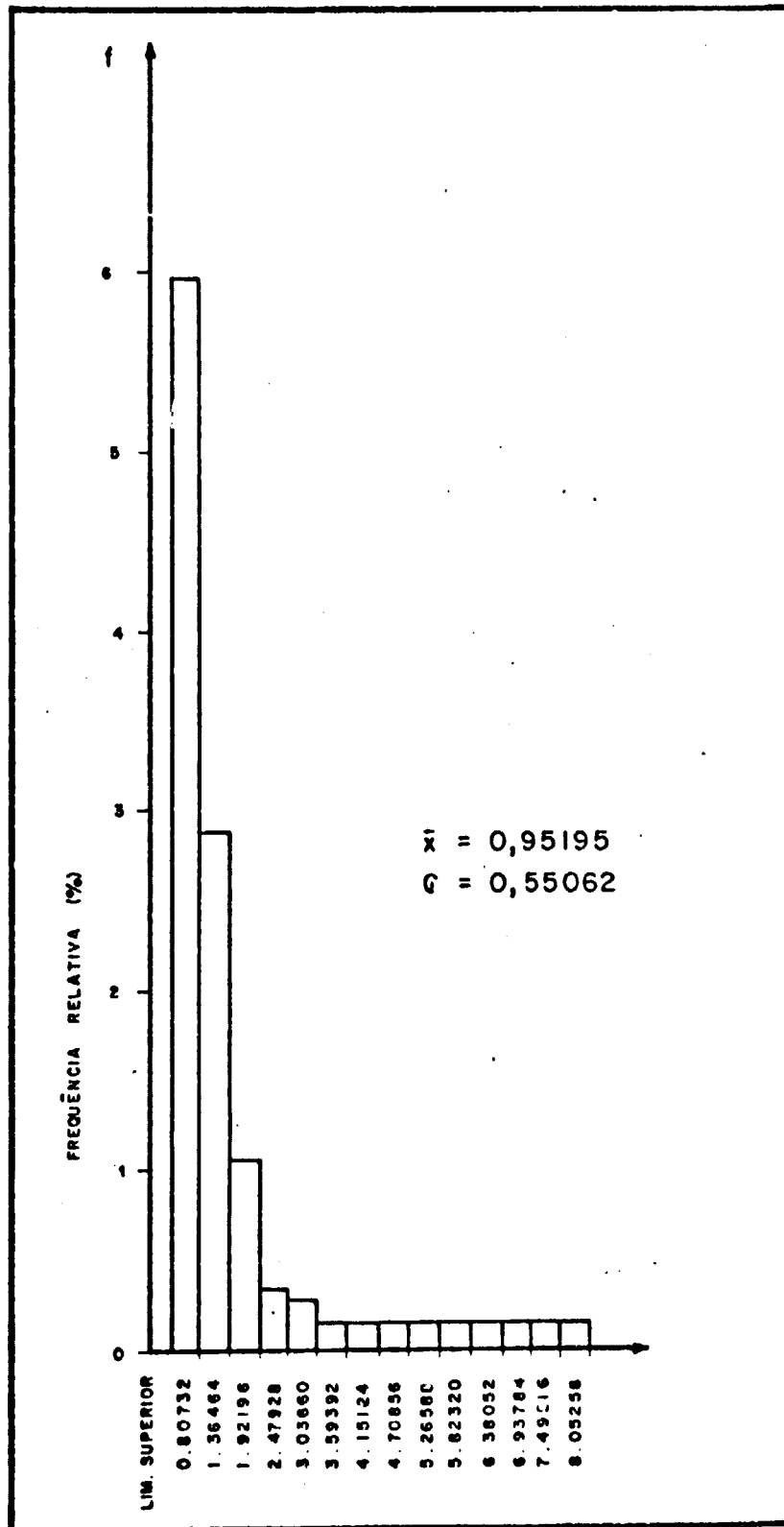


Fig. 4.17 - Distribuição de frequência dos canais da primeira ordem levantados através da imagem LANDSAT (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

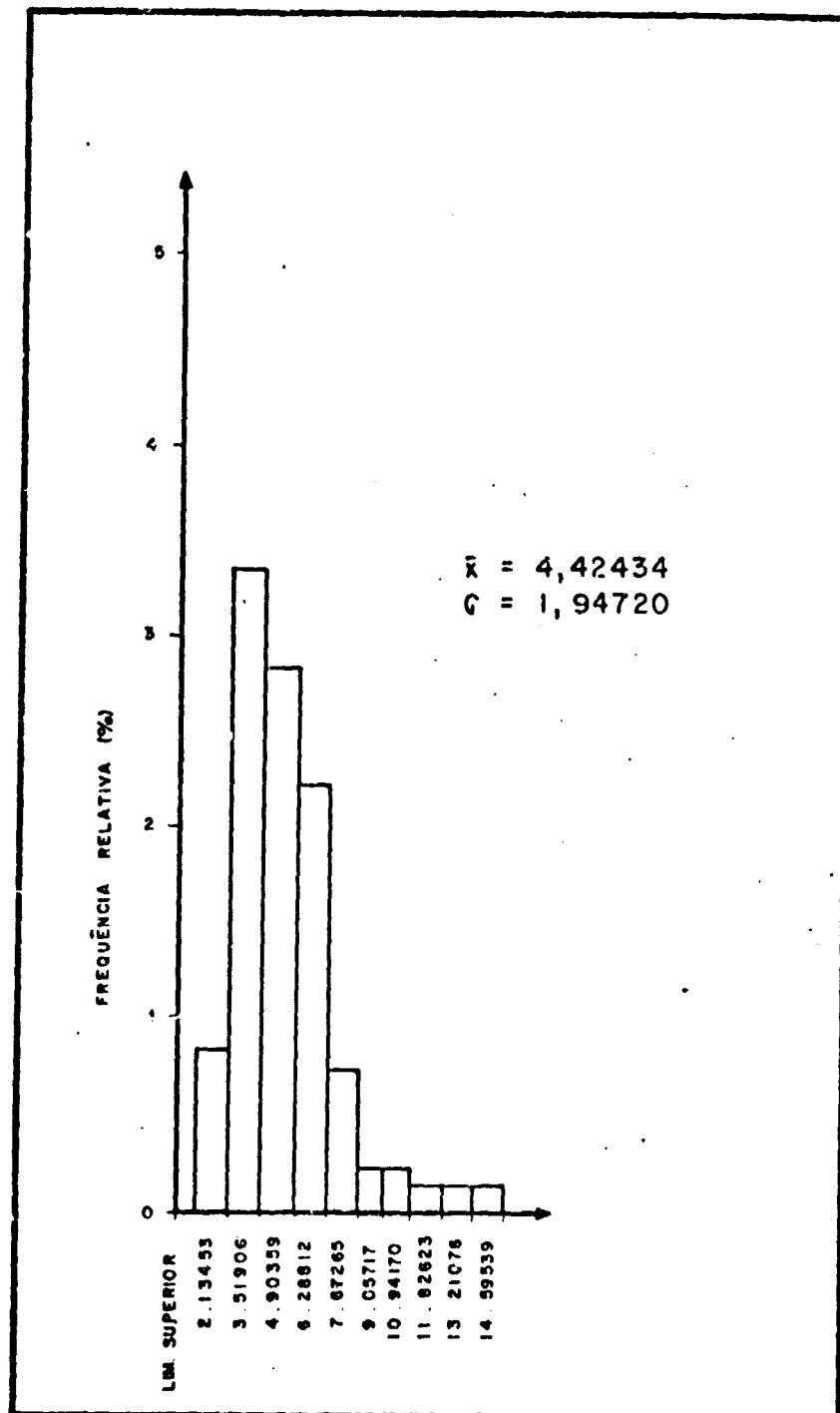


Fig. 4.18 - Distribuição de frequência dos canais de primeira ordem levantados através da carta topográfica (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

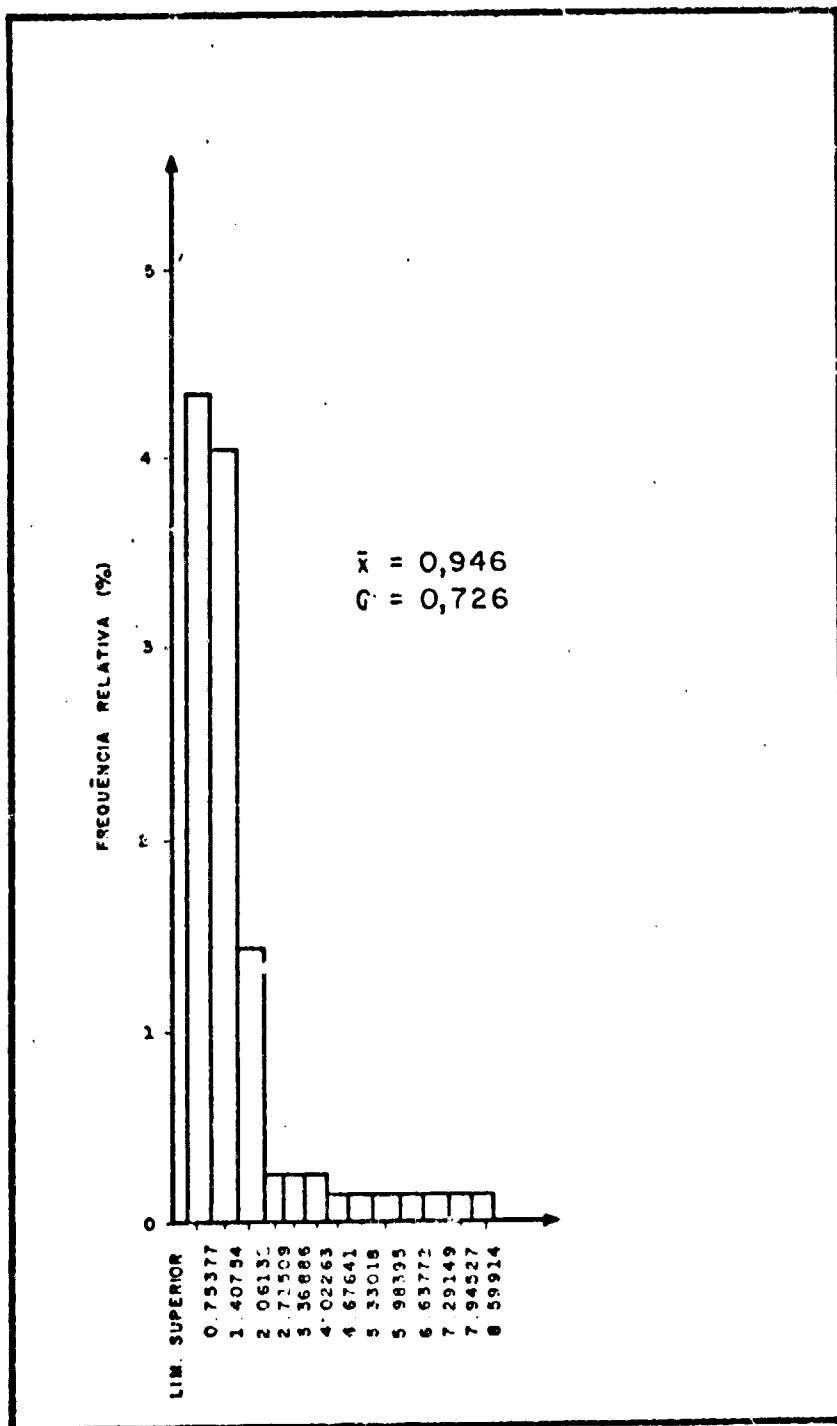


Fig. 4.19 - Distribuição de frequência dos canais de 1ª ordem levanta-  
dos a cravos da carta topográfica (1:50.000).

Observando-se os gráficos de distribuição de frequência, nota-se perfeitamente que são bastante assimétricos à direita, apresentando maior porcentagem de valores nas classes menores.

Segundo Schumm (1956) para corrigir esse problema é preciso trabalhar com o logaritmo dos valores, pois a dimensão comprimento tem uma distribuição caracteristicamente log-normal.

Baseando-se na literatura, transformaram-se os dados obtidos em logaritmos e fez-se nova distribuição de frequência, procurando-se assim obter maior normalidade dos dados para efeito de comparação (Figura 4.20, 4.21 e 4.22).

Para verificar se os dados transformados se ajustam aos teóricos padronizados pela curva normal, fez-se o teste de normalidade através do qui-quadrado, cujos resultados estão inseridos na Tabela 4.26.

Observando-se os valores obtidos, verificou-se que, mesmo depois de transformados em logaritmos, os dados referentes ao comprimento dos canais de primeira ordem não se ajustaram aos padrões preconizados pela curva normal.

Desse modo, não se pode utilizar a média e o desvio padrão para comparar esses dados, pois esses são parâmetros utilizados quando os dados obedecem a uma distribuição normal.

Como os dados são assimétricos e não se ajustam à curva normal, mesmo depois de transformados em logaritmos, usar-se-ão os valores da Mediana e da Moda para descrever essa distribuição.

Para melhor visualização, elaborou-se a Tabela 4.27 que mostra a amplitude de variação dos canais de primeira ordem.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

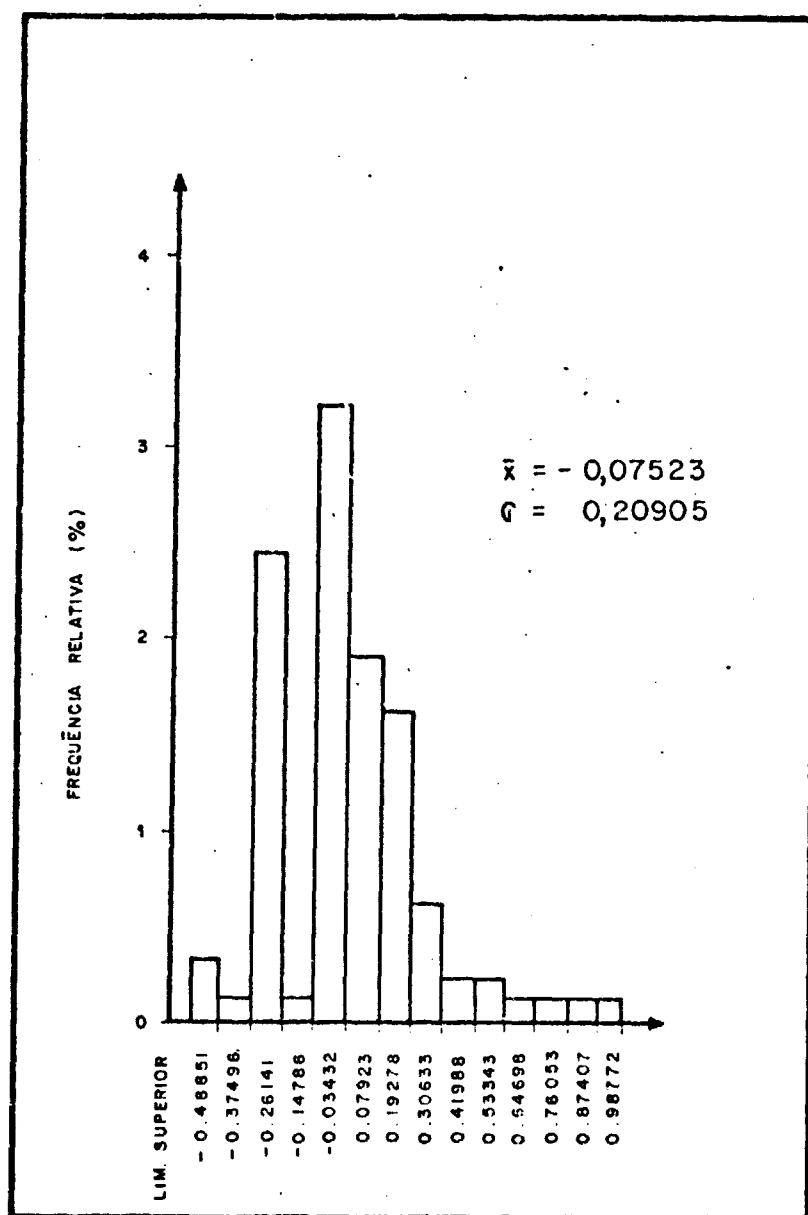


Fig. 4.20 - Distribuição log - normal dos comprimentos de canais de primeira ordem, levantados a partir da imagem LANDSAT 1:250.000.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

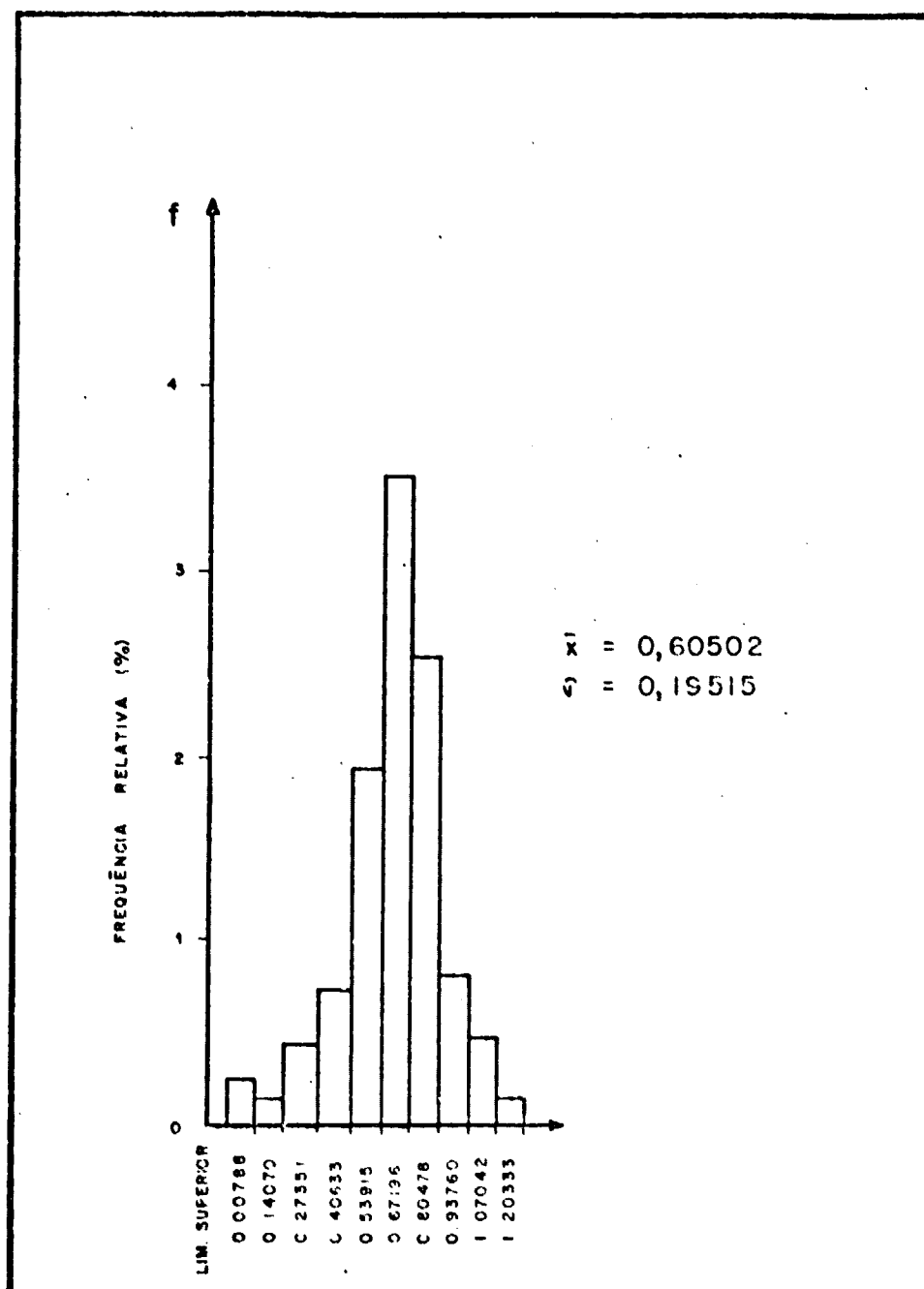


Fig. 4.21 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de primeira ordem, levantados através das cartas topográficas (1:250.000).



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

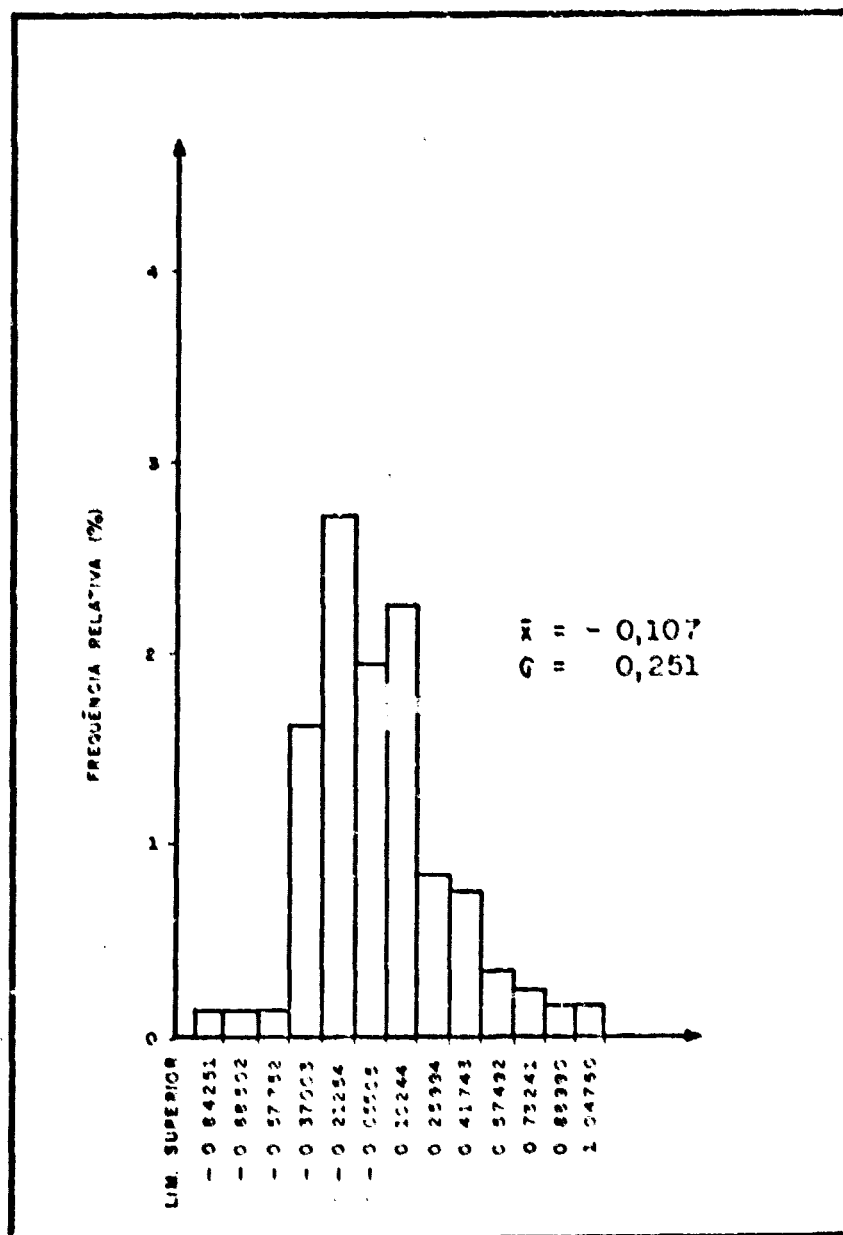


Fig. 4.22 - Distribuição log - normal dos comprimentos de canais de 1ª ordem, levantados através da carta tonográfica (1:50.000).

TABELA 4.26

VALORES DE QUI-QUADRADO DOS CANAIS DE 1ª ORDEM

| DOCUMENTOS                       | GRAUS DE LIBERDADE | ORIGINAL                | TRANSFORMADO            |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| Imagem LANDSAT<br>(1:250.000)    | 11                 | $0,12883 \cdot 10^{31}$ | * $0,191985 \cdot 10^4$ |
| Carta Topográfica<br>(1:250.000) | 7                  | $0,15605 \cdot 10^4$    | * $0,12381 \cdot 10^3$  |
| Carta Topográfica<br>(1:50.000)  | 10                 | $0,64410 \cdot 10^{20}$ | * $0,46528 \cdot 10^3$  |

ns - valores não significativos para  $\alpha = 0,05$

\* - valores significativos para  $\alpha = 0,05$

TABELA 4.27

AMPLITUDE DE VARIAÇÃO, MEDIANA E MODA DOS COMPRIMENTOS DOS CANAIS DE PRIMEIRA ORDEM, CALCULADOS ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| DOCUMENTOS                       | AMPLITUDE DE VARIAÇÃO DOS DADOS  | MEDIANA | MODA  |
|----------------------------------|----------------------------------|---------|-------|
|                                  | (valor máximo - valor mínimo) km |         |       |
| Imagem LANDSAT<br>(1:250.000)    | $7,50 - 0,250 = 7,250$           | 0,732   | 0,365 |
| Carta Topográfica<br>(1:250.000) | $14,00 - 0,750 = 13,250$         | 4,025   | 3,140 |
| Carta Topográfica<br>(1:50.000)  | $8,00 - 0,100 = 7,900$           | 0,876   | 0,606 |

Observando-se a Tabela 4.27, vê-se que existe grande variabilidade de dados entre os três documentos analisados, que vão de valores baixos tais como 0,100 km (carta topográfica na escala de 1:50.000) a 14,00 km (carta topográfica na escala de 1:250.000), que é o maior valor de comprimento encontrado.

Os dados levantados na imagem LANDSAT e nas cartas topogrâficas na escala de 1:50.000 apresentam amplitude de variação muito prôxima: 7,250 km para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e 7,900 km para a carta topográfica na escala de 1:50.000. Os valores levantados nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 apresentam maior amplitude de variação e são quase que o dobro dos valores encontrados para a escala de 1:50.000.

Os valores medianos desses documentos também estão muito próximos; são de 0,732 km para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e de 0,876 km para a carta topográfica na escala de 1:50.000.

O valor de comprimento de canal mais frequente encontrado na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 é de 0,365 km, enquanto o valor mais frequente das cartas topográficas na escala de 1:50.000 é o dobro desse, ou seja, 0,606 km.

O valor mediano mais frequente encontrado nas cartas topogrâficas na escala de 1:250.000 está por volta de 3.140 km, valor muito superior aos dos outros dois documentos analisados.

Isso mostra claramente que os dados de comprimento de canais de primeira ordem, levantados na carta topográfica na escala de 1:250.000, dão valores mais grosseiros do que os encontrados para a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e para a carta topográfica na escala de 1:50.000. Comparando-se esses dois últimos documentos, vê-se que a imagem LANDAT na escala de 1:250.000 mostra valores mais frequentes menores do que os encontrados para a carta topográfica na escala de 1:50.000.

Em outras palavras, vê-se que as bacias hidrográficas levantadas nas imagens LANDSAT na escala de 1:250.000, para a área em questão, mostra muito maior riqueza de detalhes (maior informação) do que as bacias levantadas nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, o que pode ser verificado através das Figuras 3.4, 3.5 e 3.6.

Ainda com respeito aos comprimentos dos canais de drenagem Horton (1945), verificou que existe certa relação entre o comprimento médio dos canais e sua respectiva ordem, formando uma série geométrica. Em função dessa propriedade dos canais de drenagem, Horton pôde formular uma das leis de Composição da Drenagem conhecida na literatura como *Lei do Comprimento dos canais*.

Esta lei estipula que, em uma determinada bacia hidrográfica, os comprimentos médios dos canais de cada ordem ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujos primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem e cuja razão é a relação entre os comprimentos médios.

Esta lei foi estabelecida com base na observação de que o comprimento médio dos canais de determinada ordem é maior do que o da próxima ordem mais baixa e menor do que o da próxima ordem mais alta.

Para verificar a validade dessa lei, confecciona-se um gráfico em que o comprimento médio dos canais é lançado em relação à ordem e cujos pontos devem teoricamente permanecer ao longo de uma linha reta.

Procura-se então verificar se as bacias analisadas obedecem a essa lei proposta por Horton, para isso, confeccionaram-se os gráficos para os dados levantados através dos três documentos em questão (Figuras 4.23, 4.24 e 4.25).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

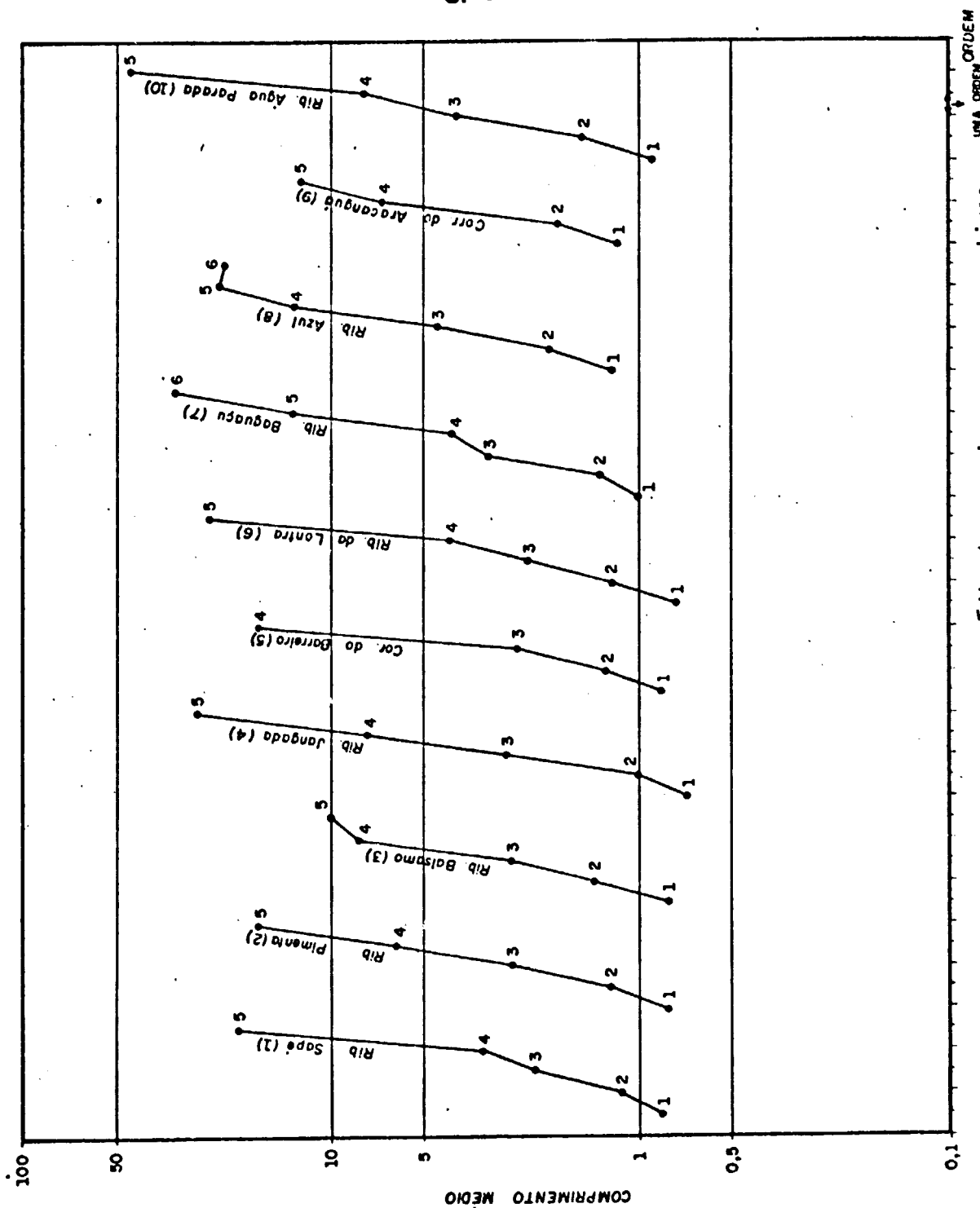
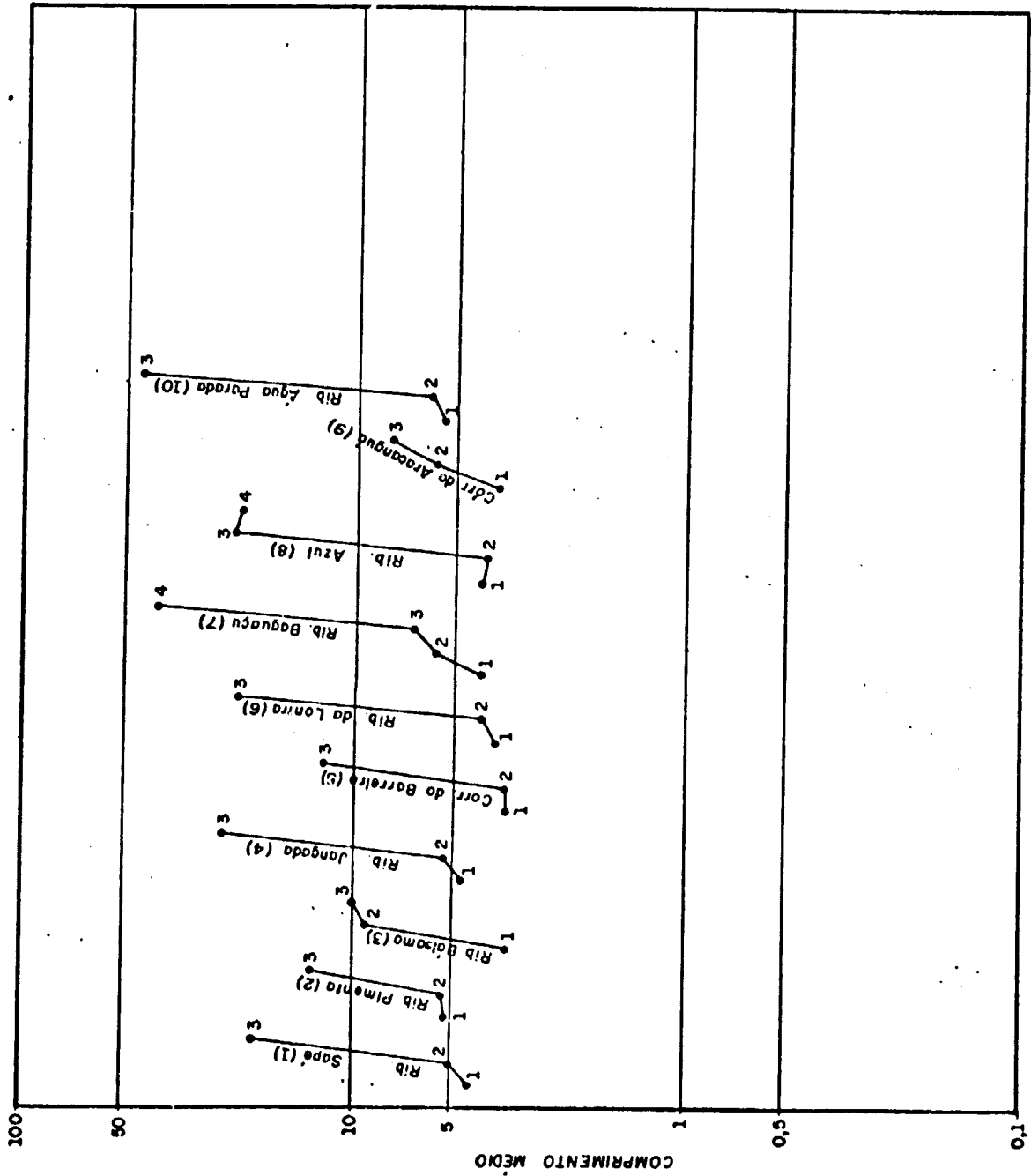


Fig. 4.23 - Relação entre o comprimento médio dos canais e suas respectivas ordens a partir da imagem LANDSAT (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

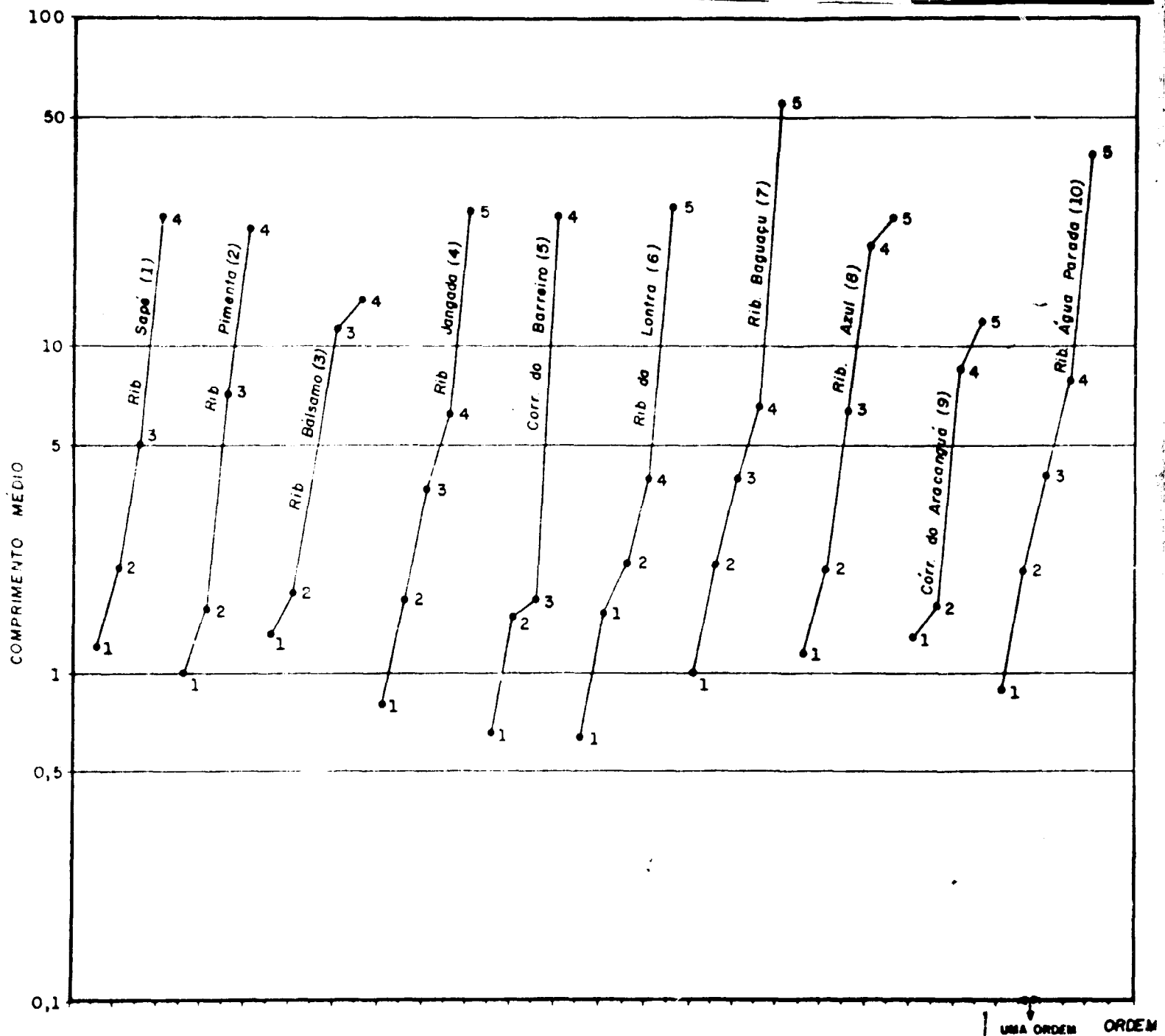


Fig. 4.25 - Relação entre o comprimento médio dos canais e suas respectivas ordens a partir da carta topográfica (1:50.000).

Observa-se que a representação gráfica dos valores calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 mostrou maior aproximação com a linha reta ideal. Chama-se a atenção apenas para o caso de duas bacias que apresentaram uma pequena distorção. Assim sendo, vê-se que o Ribeirão do Bálamo apresentou desvio na passagem da quarta para a quinta ordem, enquanto o Ribeirão Azul apresentou desvio acrescentado na passagem da quarta para a quinta ordem, chegando mesmo a apresentar inversão nos valores, o que é perfeitamente visualizado na Figura 4.23 com a quebra da linha para a direita. As demais bacias comportaram-se dentro do estabelecido pela lei, o que mostra que elas estão bem estruturadas em relação ao comprimento dos canais.

O gráfico confeccionado através da documentação cartográfica na escala de 1:250.000 apresentou muitas distorções e maior distanciamento da linha reta ideal que a lei estabelece. Nesse gráfico vê-se que quase todas as bacias apresentam fortes desvios nas mais diferentes passagens de ordens. Algumas bacias chegaram até mesmo a inverter a direção da linha, como é o caso da bacia do Ribeirão Azul, que apresenta uma nítida distorção na passagem da primeira para a segunda ordem e uma inversão dos valores na passagem da terceira para a quarta ordem. Dentre essas bacias, apenas o Córrego de Aracanguá manteve-se próximo do estabelecimento pela lei.

Analisando-se a Figura 4.25, vê-se que as bacias hidrográficas também se mantêm próximas da linha reta ideal, com número de desvios maior quando comparados com o gráfico obtido através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000. Vê-se que as bacias que apresentaram desvios maiores no gráfico confeccionado a partir das imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 que são as bacias do Ribeirão do Bálamo e a do Ribeirão Azul, também apresentam desvios nesse gráfico, além das bacias do Córrego do Barreiro e do Córrego do Aracanguá, que apresentaram problemas na passagem da segunda para a terceira ordem e da terceira para a quarta ordem, respectivamente.



Com respeito à Lei do Comprimento dos canais, calculados em diferentes documentação e com base na representação gráfica, verificou-se que os dados extraídos da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 proporcionaram maior concordância com a lei hortoniana.

Por outro lado, os valores obtidos através da documentação cartográfica na escala de 1:250.000 foram os que mais se afastaram da linha reta ideal, apresentando desvios nas mais variadas passagens de ordens, conforme pode ser verificado na Figura 4.43. Os valores extraídos da carta topográfica na escala de 1:50.000 também mostraram maior aproximação da reta ideal, mas apresentaram maior número de distorções, quando comparados com a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

Em resumo observa-se que os dados extraídos da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 mostraram boa representatividade para o estudo do comportamento dos comprimentos dos canais em relação à ordem, conforme preconiza a lei do Comprimento dos canais, estabelecida por Horton. Isso prova que em áreas semelhantes à estudada e carentes de documentação cartográfica, as imagens LANDSAT na escala de 1:250.000 podem perfeitamente suprir essa lacuna, dando os mesmos resultados que os das cartas topográficas na escala de 1:50.000.

Para mostrar a relação entre os valores de comprimento médio dos canais de primeira ordem, obtidos através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e das cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, confeccionaram-se as Figuras 4.26 e 4.27.

Observando-se a Figura 4.26, vê-se que não existe nenhuma relação entre os valores obtidos através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e os dados calculados através da carta topográfica na escala de 1:250.000. Aos valores baixos na imagem LANDSAT correspondem valores altos na carta topográfica na escala de 1:250.000, e os valores obtidos nas cartas topográficas apresentam uma variação muito maior do que os da imagem LANDSAT. Apresentam também um coeficiente de correlação muito baixo, igual a 0,123.

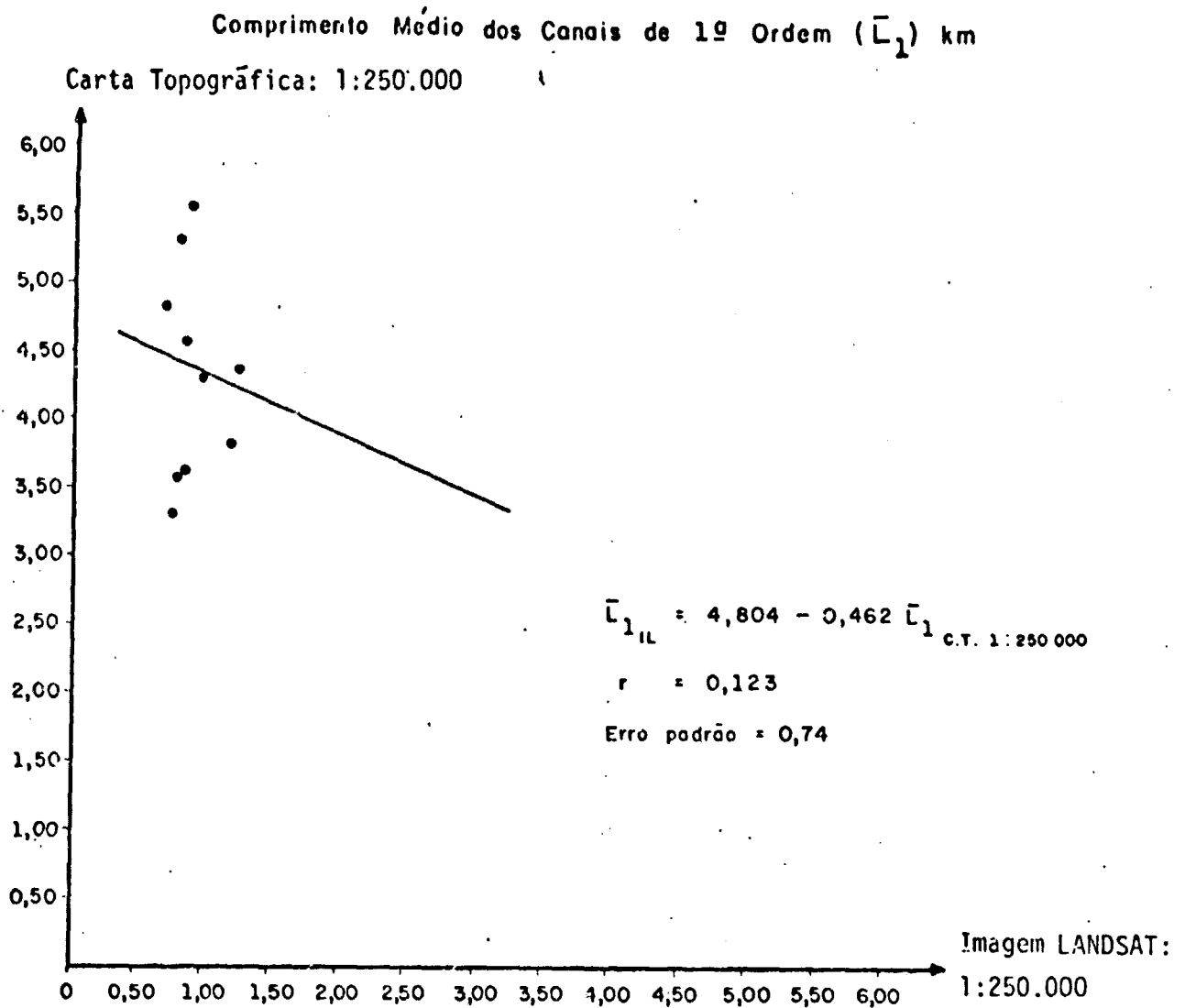


Fig. 4.26 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 1ª ordem ( $\bar{L}_1$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

A Figura 4.27 também mostra uma relação muito baixa entre os valores calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, e os valores obtidos através da carta topográfica na escala de 1:50.000. Ambos os documentos apresentam valores baixos para o comprimento dos canais de primeira ordem, mas não apresentam nenhuma relação. Vê-se que o coeficiente de correlação que evidencia a ausência de correlação entre esses valores, é igual a 0,484.

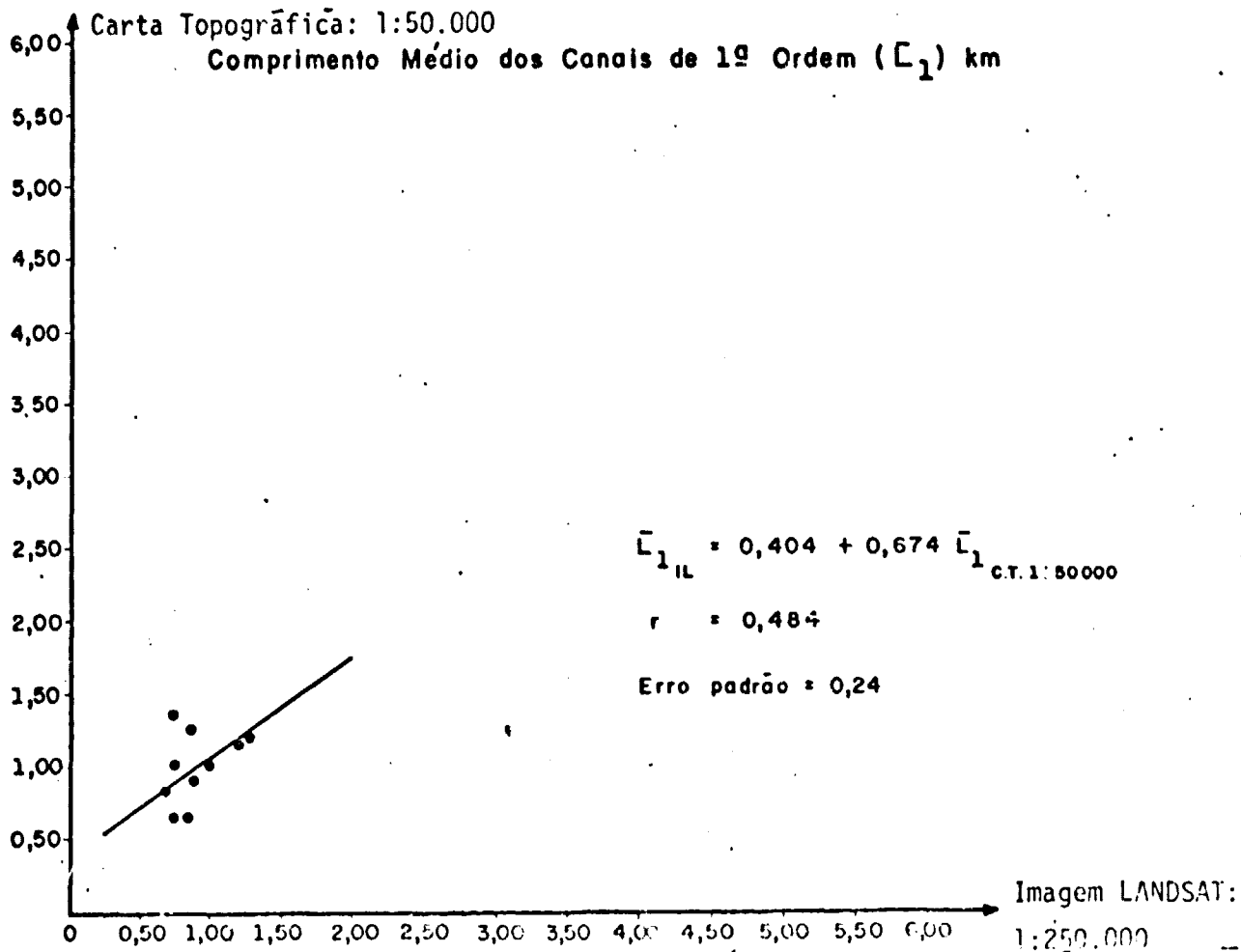


Fig. 4.27 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 1ª ordem ( $\bar{L}_1$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Em seguida, passou-se a analisar o comprimento médio dos canais de segunda ordem, cujos dados calculados através dos diferentes documentos encontram-se relacionados na Tabela 4.28.

Analisando-se esta tabela, nota-se que os dados levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 deram os menores valores, enquanto os dados levantados através da carta topográfica na escala de 1:250.000 deram valores mais altos quando comparados com os outros documentos analisados.

TABELA 4.28

COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE SEGUNDA ORDEM ( $L_2$ ) CALCULADO ATRAVÉS  
DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS  
(1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE 2ª ORDEM (km) |                                  |                                 |
|--------|---|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)                 | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 1,15  | 5,12                             | 2,17                            |
| 02     | 1,26  | 5,42                             | 1,63                            |
| 03     | 1,43  | 9,37                             | 1,69                            |
| 04     | 1,07  | 5,45                             | 1,69                            |
| 05     | 1,31  | 3,50                             | 1,54                            |
| 06     | 1,24  | 4,20                             | 1,56                            |
| 07     | 1,37  | 5,87                             | 2,23                            |
| 08     | 1,98  | 4,12                             | 2,10                            |
| 09     | 1,85  | 5,83                             | 1,62                            |
| 10     | 1,56  | 6,00                             | 2,17                            |

O maior valor de comprimento médio de canais de segunda ordem encontrado na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 foi o da ba  
cia do Ribeirão Azul, cujo valor é igual a 1,98 km de extensão.

Na carta topográfica na escala de 1:250.000 encontram-se valores médios iguais a 9,37 km- o maior valor encontrado nessa documen  
tação- como foi o caso da ba  
cia do Ribeirão do Bálamo. Os dados levanta  
dos a partir das cartas topográficas na escala de 1:50.000 são sempre superiores ao levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 mas não apresentam muita diferença. O maior valor de comprimento médio para essa documentação foi o da ba  
cia do Ribeirão Baguaçu, que é igual a 2,23 km de extensão.

Para melhor visualização calculou-se a diferença em porcentagem desses valores cujos resultados obtidos estão listados na Tabela 4.29. Essa tabela mostra que as diferenças individuais são mais elevadas entre os valores calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 do que as diferenças entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:50.000. Assim, o maior valor de diferença encontrado entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000 é o da bacia do Ribeirão do Bãlsamo, cujo valor de diferença é igual a -84,2%, enquanto a maior diferença em porcentagem entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:50.000 é a da bacia do Ribeirão Sapê, cujo valor é igual a -47,0%.

A diferença média total entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000 é igual a -72,4% enquanto a diferença média total entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:50.000 está por volta de -22,0%. O que mostra que os valores de comprimento médios dos canais de segunda ordem encontrados para as cartas topográficas na escala de 1:250.000 são também exagerados, quando comparados com a outra documentação utilizada.

Elaborou-se a distribuição de frequência para os valores de comprimento dos canais de segunda ordem, observando-se que os histogramas obtidos também apresentam grande assimetria e mostram um desvio acentuado dos valores para a direita (Figuras 4.28, 4.29 e 4.30).

Para corrigir esse problema transformaram-se os dados em logaritmos e fez-se uma nova distribuição de frequência, conforme sugestão de Schumm (1953) (Figuras 4.31, 4.32 e 4.33).

Em seguida fez-se o teste do qui-quadrado, para verificar se os dados transformados se ajustam aos padrões estabelecidos para a curva normal, cujos resultados se encontram listados na Tabela 4.30.

TABELA 4.29

COMPRIMENTO MÉDIO DOS CANAIS DE 2ª ORDEM ( $\bar{L}_2$ )

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DOS COMPRIMENTOS MÉDIOS DE CANAIS<br>DE 2ª ORDEM ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | -77,5   | -47,0                           |
| 02                          | -76,7   | -22,7                           |
| 03                          | -84,2   | -12,4                           |
| 04                          | -80,4   | -36,7                           |
| 05                          | -62,6   | -23,0                           |
| 06                          | -70,5   | -20,5                           |
| 07                          | -76,7   | -38,6                           |
| 08                          | -51,9   | - 5,7                           |
| 09                          | -69,3   | 14,2                            |
| 10                          | -74,0   | -28,1                           |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = -72,4$   | $\bar{D} = -22,0$               |

Observa-se que apenas os valores levantados a partir das cartas topográficas na escala de 1:250.000 deram resultados positivos, comportando-se dentro dos padrões de normalidade, enquanto os dados referentes aos outros documentos, mesmo depois da transformação, se distanciam muito da normalidade.

Em função disso usar-se-ão apenas os dados brutos baseado-se nos valores da Mediana e da Moda, para efeito de comparação (Tabela 4.31).

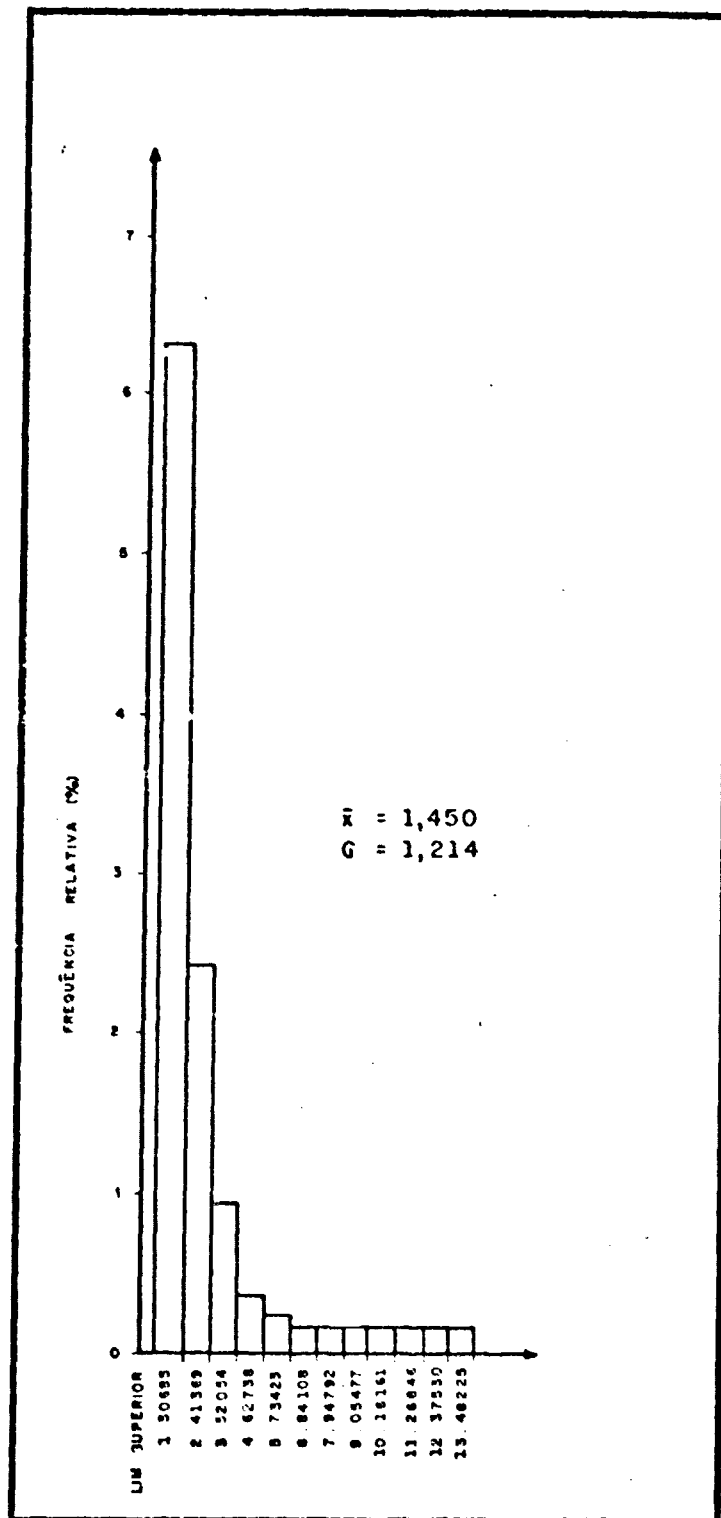


Fig. 4.28 - Distribuição de frequência dos canais de 2ª ordem levantados através da imagem LANDSAT (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

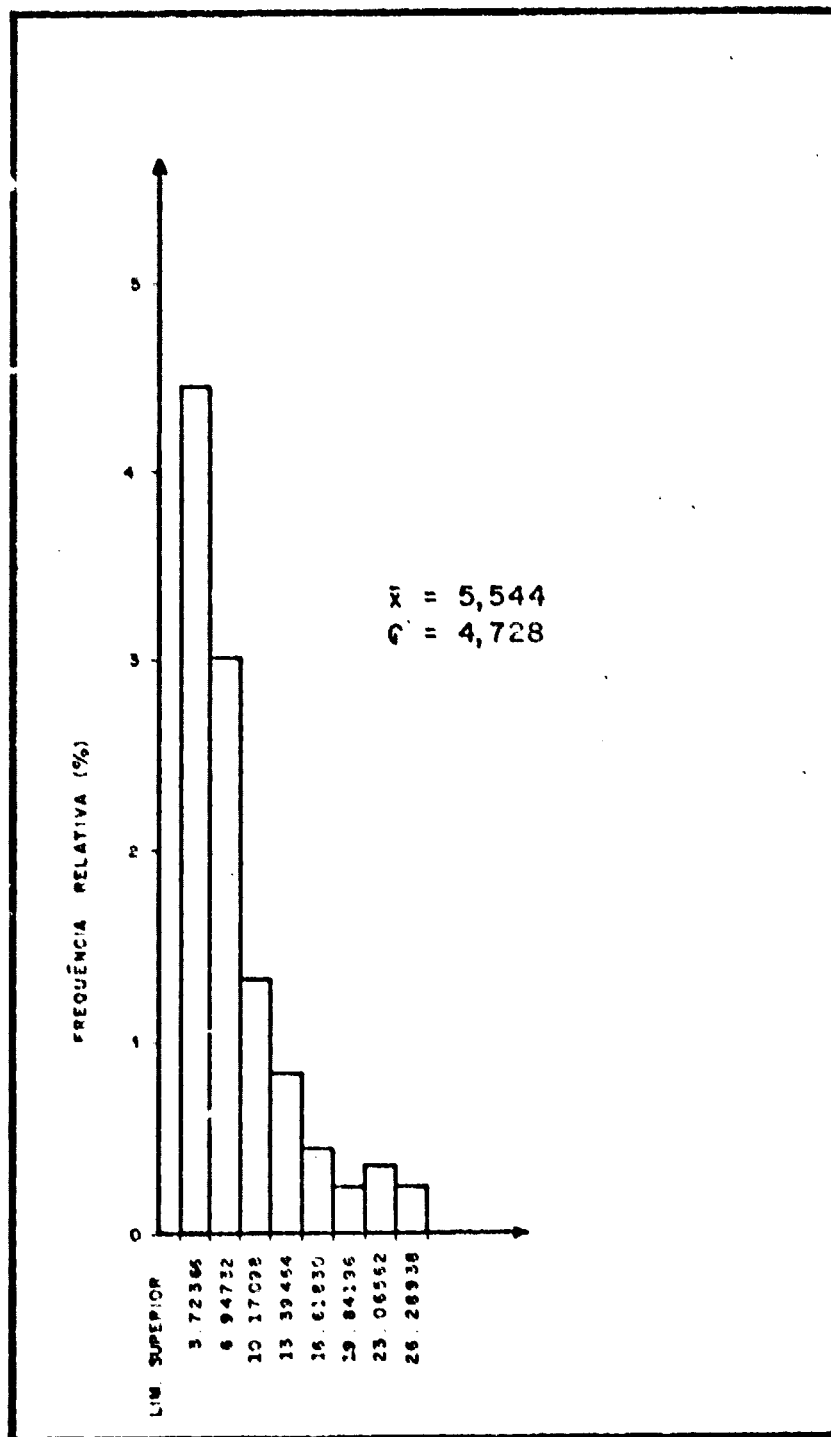


Fig. 4.29 - Distribuição de frequência dos canais de 23ª ordem levantados através da carta topográfica (1:250.000).



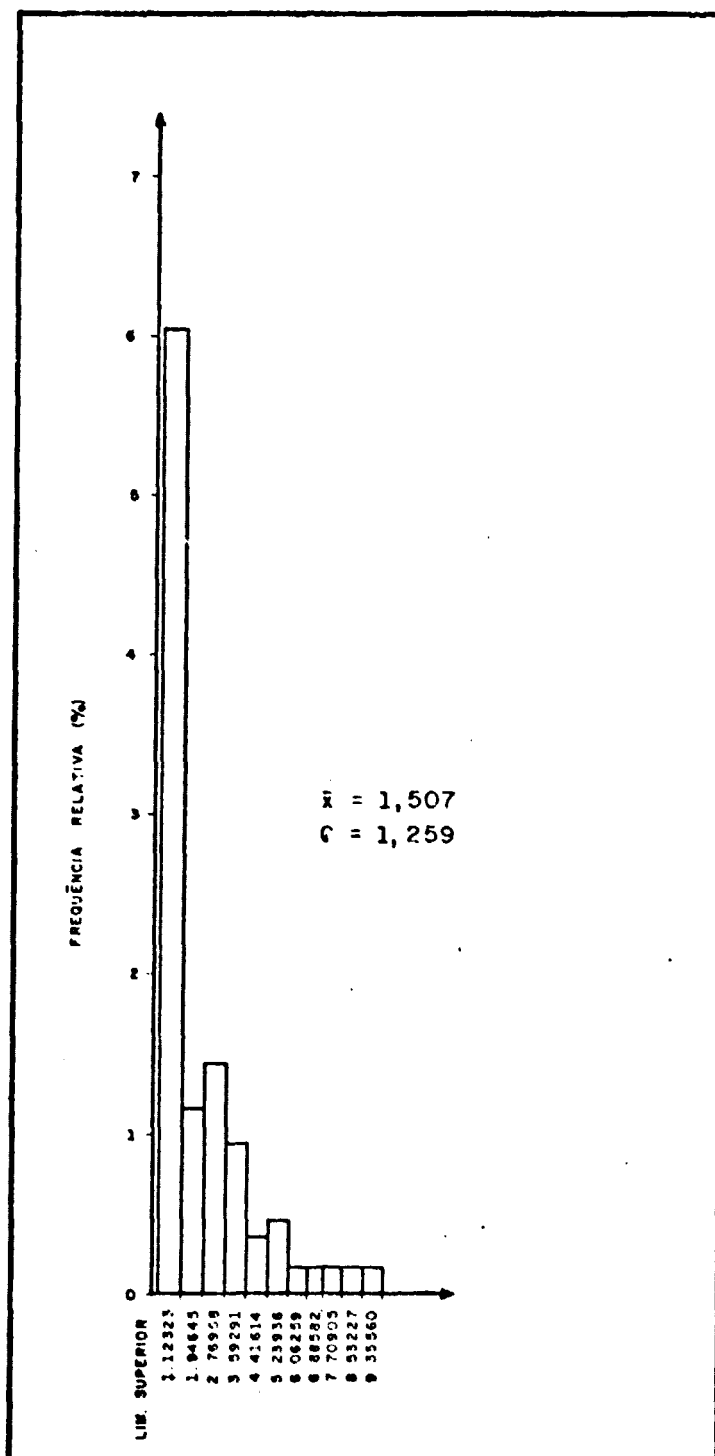


Fig. 4.30 - Distribuição de frequência dos canais de 2ª ordem levantados através da carta topográfica (1:50.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

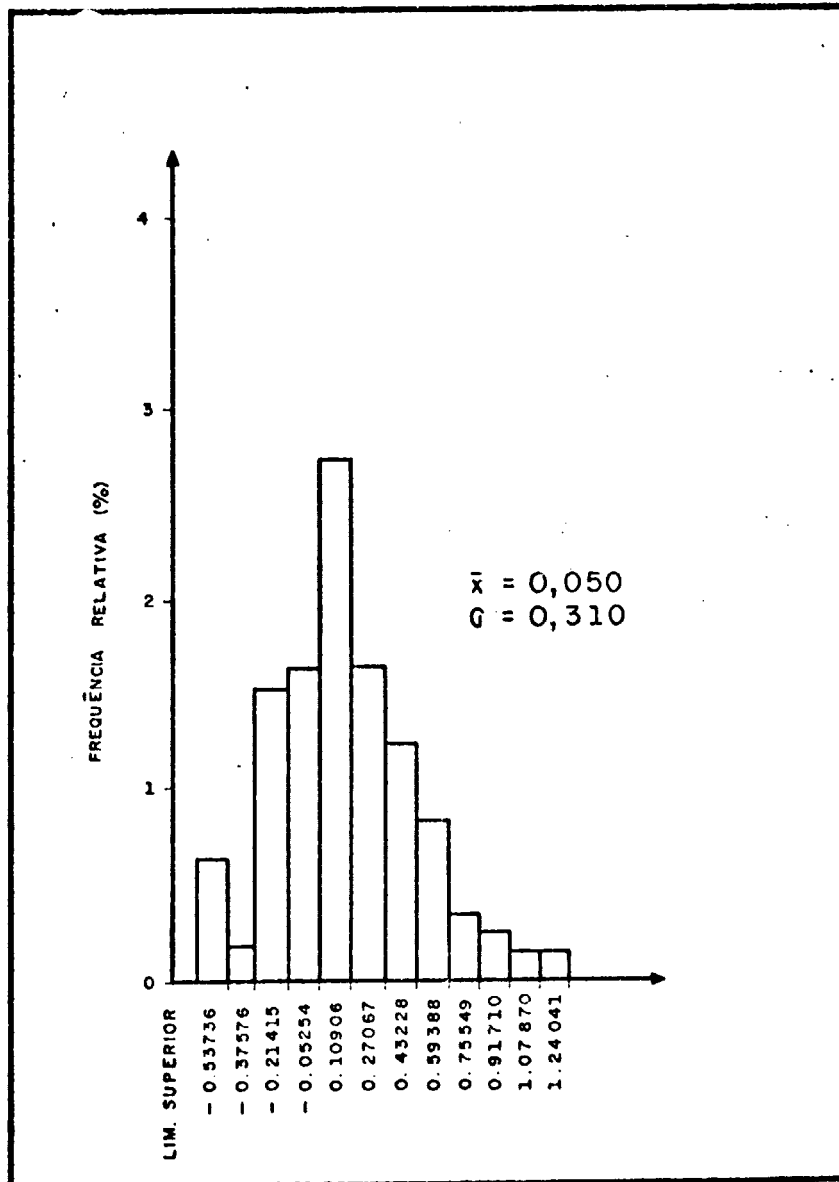


Fig. 4.31 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de 2ª ordem, levantados através da imagem LANDSAT (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

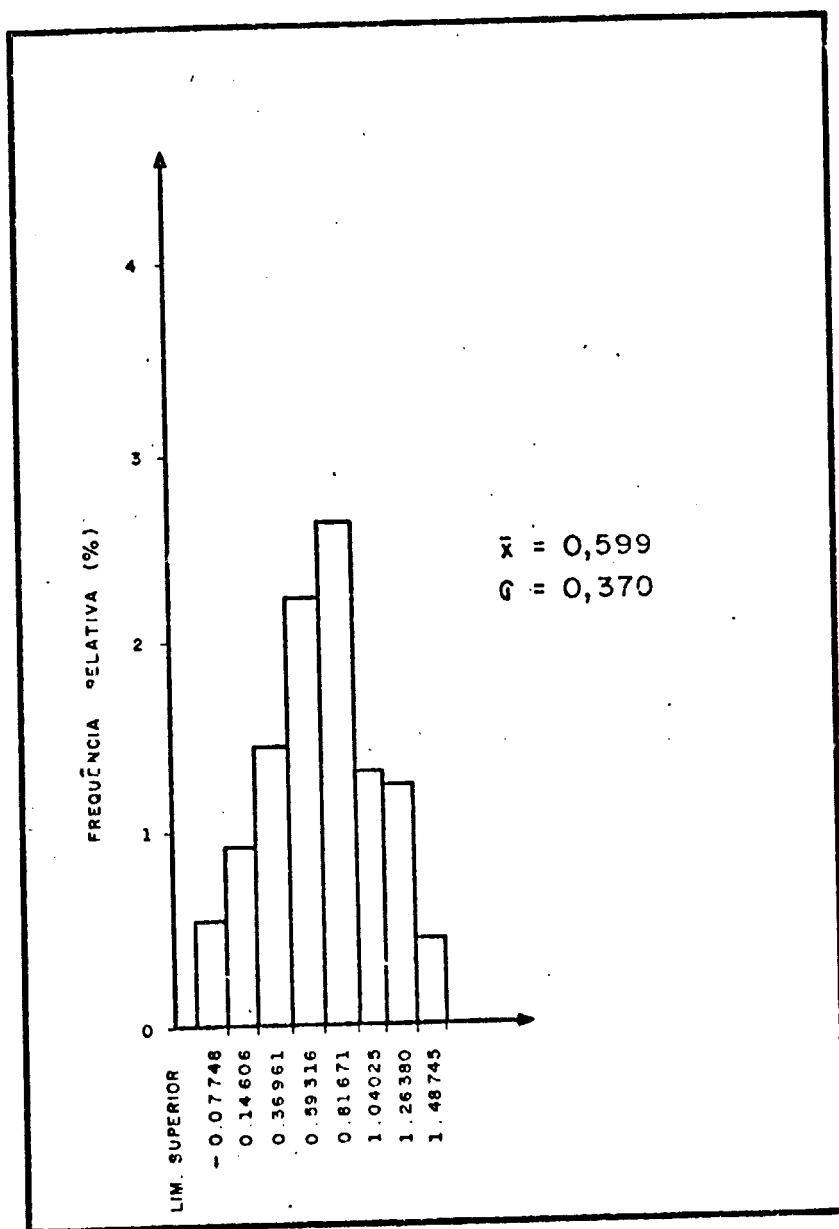


Fig. 4.32 - Distribuição log-normal dos comprimentos de canais de 2ª ordem, levantados através da carta topográfica (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

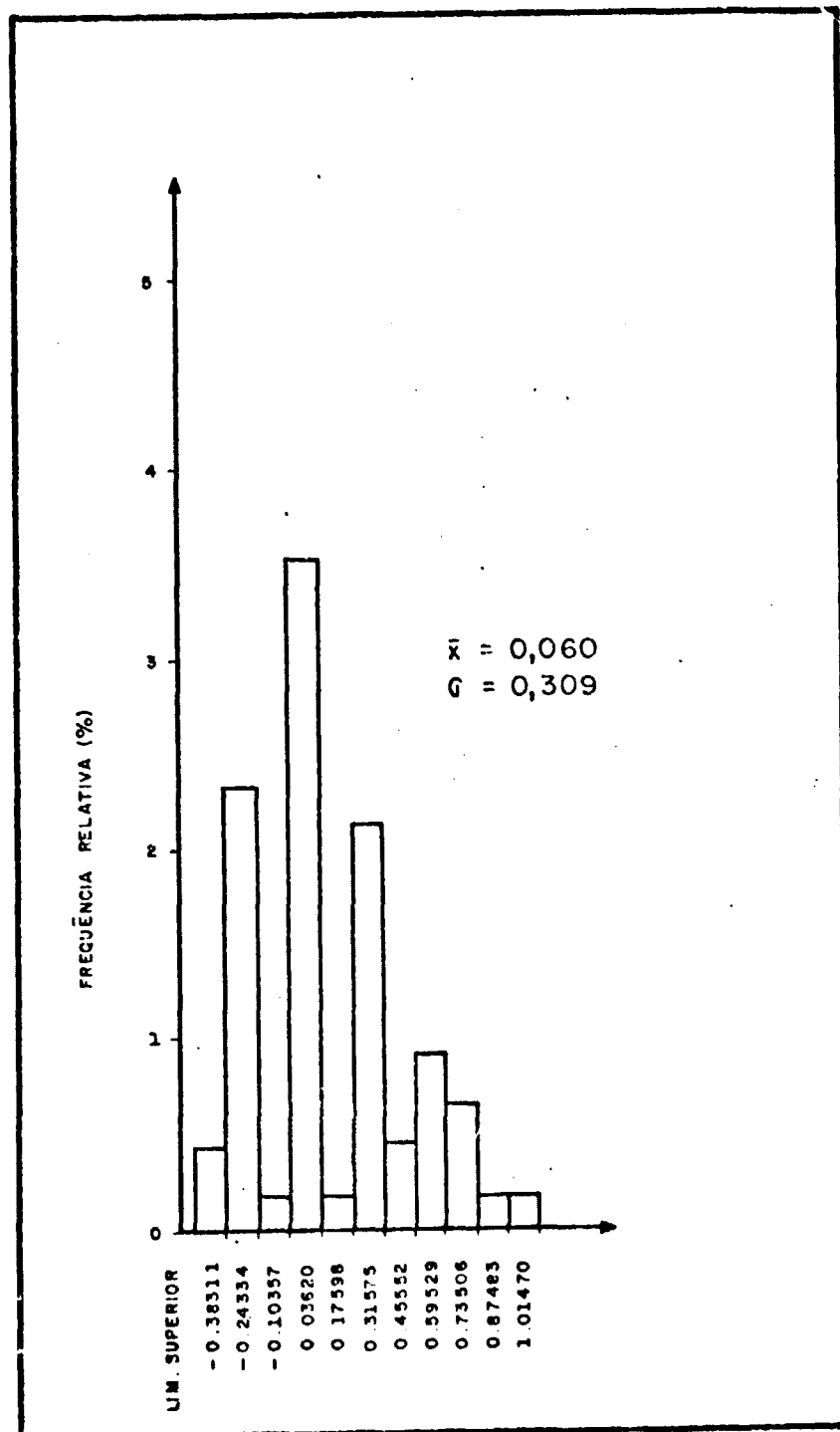


Fig. 4.33 - Distribuição log-normal do comprimentos de canais de 2ª ordem levantados através da carta topográfica (1:50.000).

TABELA 4.30

VALORES DE QUI-QUADRADO DOS COMPRIMENTOS DOS CANAIS DE SEGUNDA ORDEM

| DOCUMENTOS                    | GRAUS DE LIBERDADE | ORIGINAL                | TRANSFORMADO               |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| Imagem LANDSAT (1:250.000)    | 9                  | $0,64245 \cdot 10^{17}$ | * $0,18452 \cdot 10^3$     |
| Carta Topográfica (1:250.000) | 5                  | $0,20335 \cdot 10^3$    | n.s.<br>$0,42136 \cdot 10$ |
| Carta Topográfica (1:50.000)  | 8                  | $0,21192 \cdot 10^6$    | * $0,60434 \cdot 10^3$     |

ns - valores não significativos para  $\alpha = 0,05$

\* - valores significativos para  $\alpha = 0,05$ .

TABELA 4.31

AMPLITUDE DE VARIAÇÃO, MEDIANA E MODA DOS COMPRIMENTOS DOS CANAIS DE SEGUNDA ORDEM, LEVANTADOS A PARTIR DAS IMAGENS LANDSAT (1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS NAS ESCALAS DE (1:250.000 E 1:50.000)

| DOCUMENTOS                    | AMPLITUDE DE VARIAÇÃO DOS DADOS  | MEDIANA | MODA  |
|-------------------------------|----------------------------------|---------|-------|
|                               | (valor máximo - valor mínimo) km |         |       |
| Imagem LANDSAT (1:250.000)    | $12,50 - 0,20 = 12,30$           | 1,089   | 0,683 |
| Carta Topográfica (1:250.000) | $25,00 - 0,500 = 24,50$          | 4,46    | 2,462 |
| Carta Topográfica (1:50.000)  | $9,00 - 0,30 = 8,70$             | 0,987   | 0,451 |

Analisando-se esta tabela, observa-se que os dados calculados através da carta topográfica na escala de 1:250.000 apresentam maior variabilidade dos dados, que variam de 0,50 km a 25,00 km. A documentação cartográfica na escala de 1:50.000 foi a que apresentou menor variabilidade nos dados, sendo superada até pelos dados calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 (Tabela 4.31).

Quanto aos valores mais frequentes (Moda) do comprimento dos canais de segunda ordem, é interessante notar que o valor atinente à imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 que é igual a 0,683 km é superior ao valor mais frequente encontrado na documentação cartográfica na escala de 1:50.000, que é igual a 0,481 km.

Resumindo observa-se que, para os comprimentos dos canais de segunda ordem, os valores encontrados na documentação cartográfica na escala de 1:250.000 mostraram valores discrepantes, quando comparados com os valores obtidos através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e das cartas topográficas na escala de 1:50.000. Comparando-se esses dois documentos nessa referida ordem, os valores obtidos através das cartas topográficas na escala de 1:50.000 deram valores de extensão menores do que os encontrados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

Para ilustrar a relação entre os valores de comprimento médio dos canais de segunda ordem, confeccionaram-se as Figuras 4.34 e 4.35, que mostram que não existe relação entre os valores de comprimento médio, calculados através dos documentos em questão. Assim vê-se que entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000 os valores são bastantes dispersos, apresentando coeficiente de correlação igual a 0,056. Comparando-se a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com a documentação cartográfica na escala de 1:50.000, vê-se que os dados que mostram valores baixos não estão muito dispersos e não apresentam nenhuma correlação, como pode ser verificado pelo coeficiente de correlação calculado, que é igual a 0,195.

ORIGINAL PAGE 19  
OF POOR QUALITY

Comprimento Médio dos Canais de 2ª Ordem ( $\bar{L}_2$ ) km

Carta Topográfica: 1:250.000

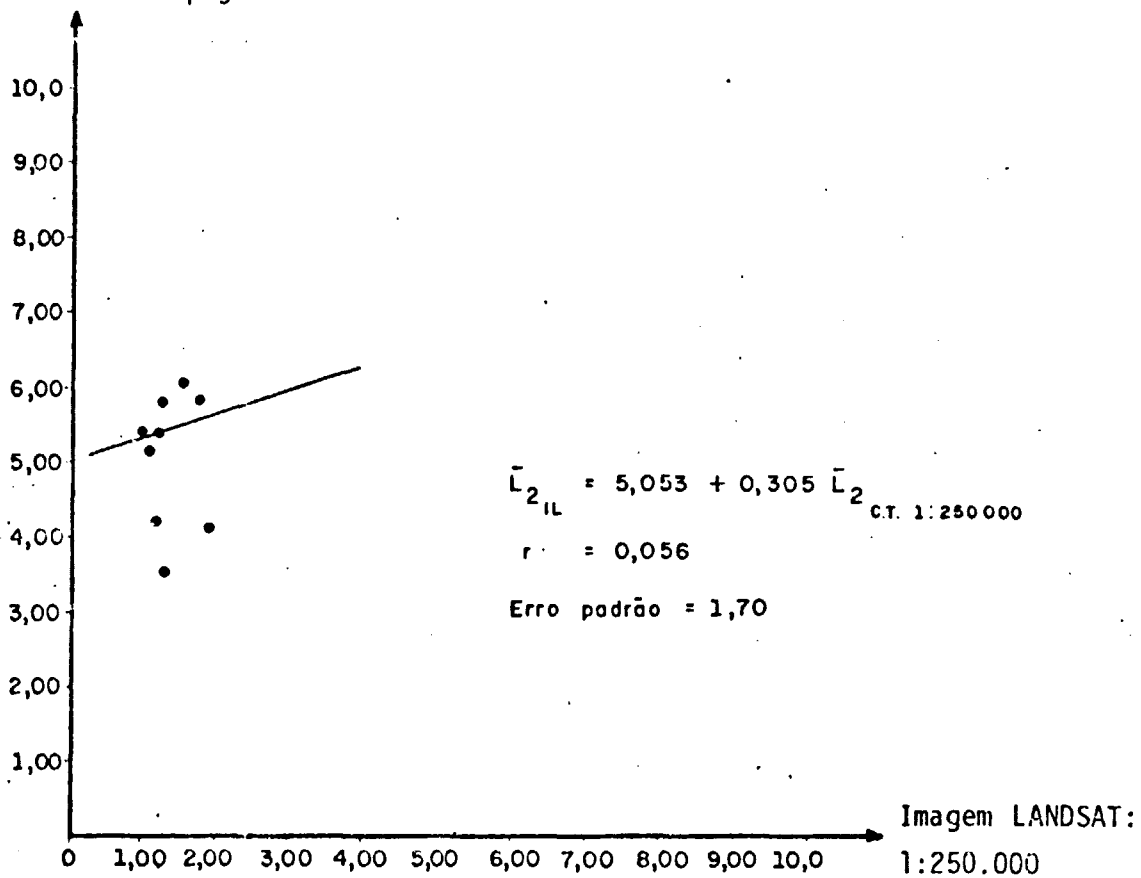


Fig. 4.34 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 2ª ordem ( $\bar{L}_2$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

ORIGINAL PAGE 19  
OF POOR QUALITY

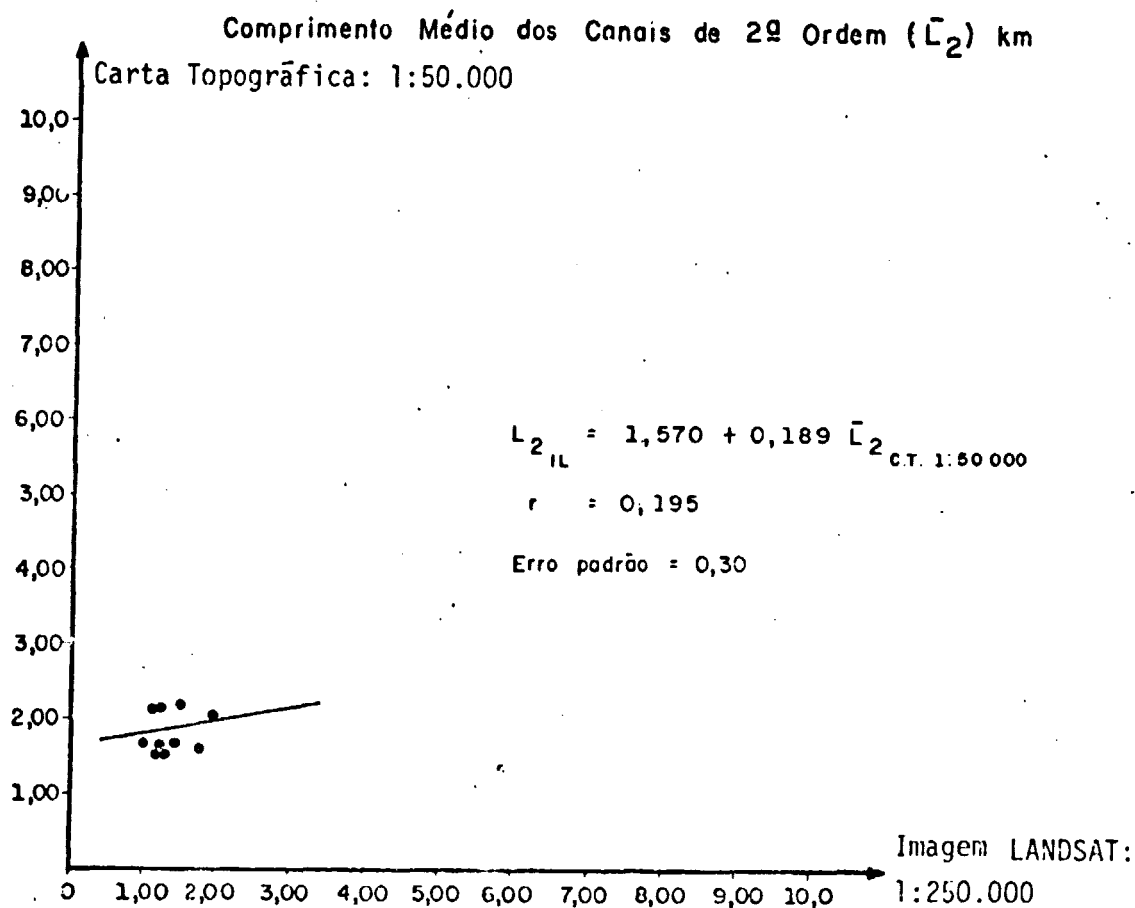


Fig. 4.35 - Relação entre o comprimento médio dos canais de 2ª ordem ( $\bar{L}_2$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).



Concluindo, observa-se que os dados de comprimento médio dos canais de segunda ordem calculados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 são bastante representativos, quando comparados com a documentação cartográfica na escala de 1:50.000, que é a documentação frequentemente utilizada para esse tipo de estudo (morfometria de ba cias hidrográficas).

Assim, para áreas semelhantes à estudada pode-se perfei tamente utilizar a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 para estudar o comprimento dos canais de primeira e de segunda ordem, pois dão re sultados semelhantes ao da documentação cartográfica na escala de 1:50.000, que é considerada uma carta de detalhe, para os estudos mor fométricos de bacias hidrográficas.

#### 4.2 - VARIÁVEIS TOPOLÓGICAS

##### 4.2.1 - ORDEM ( $\Omega$ )

A ordem de uma bacia hidrográfica diz respeito à sua hie rarquização, isto é, como estão organizados seus respectivos elementos (canais).

O primeiro passo na análise de bacias hidrográficas é es tabelecer a sua ordem. O método comumente utilizado para a orden ação das bacias hidrográficas é o proposto por Strahler (1952).

Estabelecendo-se o número de ordem para as bacias hidro gráficas, vê-se que duas bacias que apresentam diferenças no aspecto li near podem muito bem ser comparadas através do seu número de ordem.

Como se usa o método de Strahler para a ordenação das ba cias hidrográficas, as diferenças que xistem entre a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000 não são devidas ao método utilizado, mas sim à com paração de três tipos diferentes de documentação.

Os valores de ordem encontrados estão listados na Tabela 4.32. Analisando-se esta tabela, observa-se que os maiores valores de ordem encontrados se referem às bacias levantadas através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000. Assim, vê-se que o Ribeirão Baguaçu e o Ribeirão Azul foram os que apresentaram o maior número de ordens, isto é, são bacias de sexta ordem. Seguem as bacias do Ribeirão Sapê, Ribeirão Pimenta, Ribeirão do Bálamo, Ribeirão Jangada, Ribeirão da Lontra e Ribeirão Água Parada, todas de quinta ordem. Já o Córrego do Barreiro e o Córrego do Aracanguã foram as bacias que apresentaram o menor número de ordem na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000; são bacias de quarta ordem.

Passando-se a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 para a documentação cartográfica, vê-se que as cartas topográficas na escala de 1:50.000 mostraram resultados mais próximos dos calculados na imagem LANDSAT. Assim, vê-se que, para as bacias do Ribeirão Jangada, Ribeirão da Lontra, Córrego do Aracanguã e Ribeirão Água Parada, os números de ordem foram os mesmos obtidos na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

Nas bacias restantes houve diferença de apenas uma ordem, quando comparadas com os dados da imagem LANDSAT. Para exemplificar, cita-se o Ribeirão Sapê como sendo de quinta ordem na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e de quarta ordem nas cartas topográficas na escala de 1:50.000; o Ribeirão do Bálamo também é de quinta ordem na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e de quarta ordem na documentação cartográfica, e assim sucessivamente.

Comparando-se os dados levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com os da documentação cartográfica na escala de 1:250.000, observa-se que as diferenças já são mais acentuadas, com relação à ordem dos canais. De modo geral, há sempre uma diferença de duas ordens entre os dados da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e a documentação cartográfica na escala de 1:250.000. Exemplificando tem-se: Ribeirão Sapê, de quinta ordem na imagem LANDSAT e de terceira ordem na carta topográfica; Córrego do Barreiro, de quarta ordem na ima

gem LANDSAT e de segunda ordem na documentação cartográfica; Ribeirão Baguaçu, de sexta ordem na imagem LANDSAT e de quarta ordem na carta topográfica, e assim sucessivamente.

TABELA 4.32

ORDEM DOS CANAIS (α) CALCULADA ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)  
E NAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | ORDEM                         |                                  |                                 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 5ª                            | 3ª                               | 4ª                              |
| 02     | 5ª                            | 3ª                               | 4ª                              |
| 03     | 5ª                            | 3ª                               | 4ª                              |
| 04     | 5ª                            | 3ª                               | 5ª                              |
| 05     | 4ª                            | 2ª                               | 4ª                              |
| 06     | 5ª                            | 3ª                               | 5ª                              |
| 07     | 6ª                            | 4ª                               | 5ª                              |
| 08     | 6ª                            | 4ª                               | 5ª                              |
| 09     | 4ª                            | 3ª                               | 4ª                              |
| 10     | 5ª                            | 3ª                               | 5ª                              |

Em resumo pode-se afirmar que, para a área em questão, o número de ordem das bacias hidrográficas levantadas através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 foi sempre superior ao levantado nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000; há uma diferença maior quando se compara a imagem LANDSAT com a documentação cartográfica na escala de 1:250.000. Em geral, tomando-se a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 como referência, observa-se que as bacias hidrográficas levantadas a partir das cartas topográficas na escala de 1:50.000 apresentam uma ordem inferior, enquanto as da carta topográfica na escala de 1:50.000 apresentam duas ordens inferiores.

#### 4.2.2 - MAGNITUDE

Após o levantamento da ordem das bacias hidrográficas, deve-se contar o número de canais ou segmentos em cada ordem. Entende-se por magnitude de uma bacia hidrográfica o número de canais de primeira ordem ou de nascentes que lhe é tributário. Assim, a magnitude de uma bacia hidrográfica é igual ao número de canais de primeira ordem. Os dados calculados para a magnitude das bacias hidrográficas encontram-se relacionados na Tabela 4.33.

As bacias hidrográficas levantadas na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 apresentam muito maior riquezas de informação, isto é, apresentam maior detalhe da rede de drenagem. Então é evidente que o número de canais de primeira ordem na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 deve sempre ser superior ao número de canais levantados a partir da documentação cartográfica nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Observa-se que os dados levantados através da documentação cartográfica na escala de 1:50.000 dão valores mais próximos aos da imagem LANDSAT, ao passo que, comparando-se a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com a documentação cartográfica na escala de 1:250.000, as diferenças são mais acentuadas.

TABELA 4.33

MAGNITUDE DAS BACIAS (M) CALCULADA ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)  
E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | MAGNITUDE                     |                                  |                                 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 160                           | 9                                | 93                              |
| 02     | 278                           | 11                               | 118                             |
| 03     | 189                           | 13                               | 71                              |
| 04     | 446                           | 21                               | 243                             |
| 05     | 135                           | 10                               | 144                             |
| 06     | 306                           | 21                               | 398                             |
| 07     | 423                           | 36                               | 244                             |
| 08     | 394                           | 61                               | 380                             |
| 09     | 81                            | 10                               | 61                              |
| 10     | 424                           | 28                               | 408                             |

Chama-se a atenção para as bacias do Córrego do Barreiro e Ribeirão da Lontra, que apresentaram maiores magnitudes na documentação cartográfica na escala de 1:50.000 do que na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, apresentando respectivamente os valores de 144 e 380 nas cartas topográficas contra 135 e 306 na imagem LANDSAT.

Esse fato pode ser explicado pois como são duas bacias pequenas, houve maior dificuldade ao traçar todos os canais na imagem LANDSAT e por outro lado, elas tiveram os canais devidamente traçados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, o que deu, nesse caso, maior riqueza de detalhe para a documentação cartográfica.

Fez-se o cálculo da diferença em porcentagem para a magnitude das bacias hidrográficas analisadas cujos resultados obtidos en contram-se relacionadas na Tabela 4.34. Analisando-se essa tabela, ob serve-se que as diferenças em porcentagem são muito acentuadas quando se confronta a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 com a documentação cartográfica na escala de 1:250.000, que apresenta valores por volta de 1000% a 2000% de diferença. Apenas as bacias de Ribeirão Azul e Córrego do Aracanguá apresentaram valores inferiores a 1000%: 545,9% e 710,0%, respectivamente.

Já as diferenças em porcentagem entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:50.000 apre sentam valores menores, quase todos baixos de 100%; apenas a bacia do Ribeirão do Bálamo apresentou um valor por volta de 166,2%.

Analisando-se as diferenças médias em porcentagem, vê-se que, na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 na carta topográfica na escala de 1:250.000, essa diferença situa-se por volta de 1348,9%, en quanto entre a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e a documentação cartográfica na escala de 1:50.000, essa diferença fica por volta de 54,2%, que é um valor mais baixo que o valor da diferença entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e a documentação cartográfica na esca la de 1:250.000.

As Figuras 4.36 e 4.37 ilustram a relação entre os va lores de magnitude calculados a partir da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e a documentação cartográfica nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000. No primeiro caso, observa-se que os dados apresentam maior variabilidade em relação à abscissa; assim, vê-se que aos valores encon trados na imagem LANDSAT correspondem sempre valores baixos na documen tação cartográfica. Apesar de existir correlação linear entre esses va lores, vê-se que essa correlação é baixa e apresenta coeficientes de correlação igual a 0,683.

TABELA 4.34

MAGNITUDE DAS BACIAS (M)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DA MAGNITUDE DAS BACIAS<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                  |
|-----------------------------|---|----------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) |
| 01                          | 1677,0  | 72,0                             |
| 02                          | 2427,2  | 135,5                            |
| 03                          | 1353,9  | 166,2                            |
| 04                          | 2023,8  | 83,5                             |
| 05                          | 1250,0  | - 6,25                           |
| 06                          | 1357,1  | - 23,1                           |
| 07                          | 1075,0  | 73,4                             |
| 08                          | 545,9   | 3,7                              |
| 09                          | 710,0   | 32,8                             |
| 10                          | 1414,2  | 3,9                              |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 1348,9\%$  | $\bar{D} = 54,2\%$               |

No segundo caso nota-se que, apesar de os valores estarem distanciados em relação à reta de regressão, eles já mostram maior relação entre si, pois para os valores altos na imagem LANDSAT encontram-se também valores altos na documentação cartográfica na escala de de 1:50.000 e para os valores menores essa correspondência também é encontrada. Assim vê-se que ha maior correlação entre os valores calculados nesses documentos, que apresentam coeficiente de correlação igual a 0,769.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

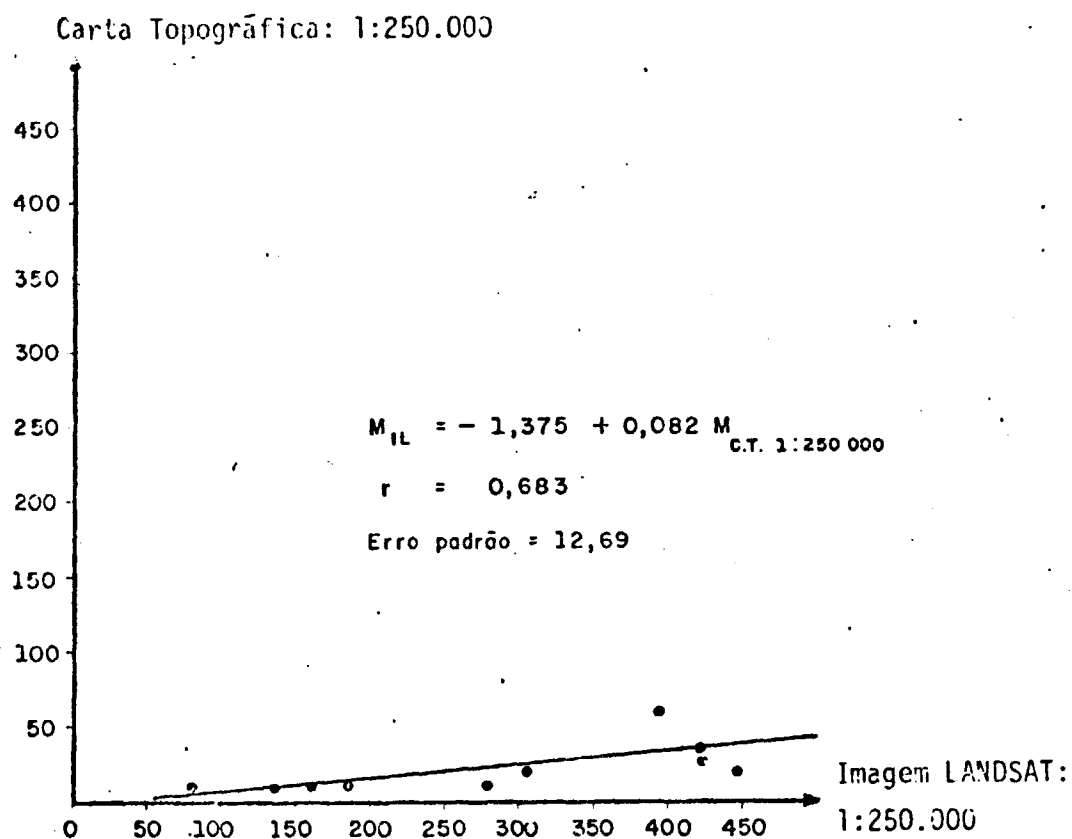


Fig. 4.36 - Relação entre a magnitude (M) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

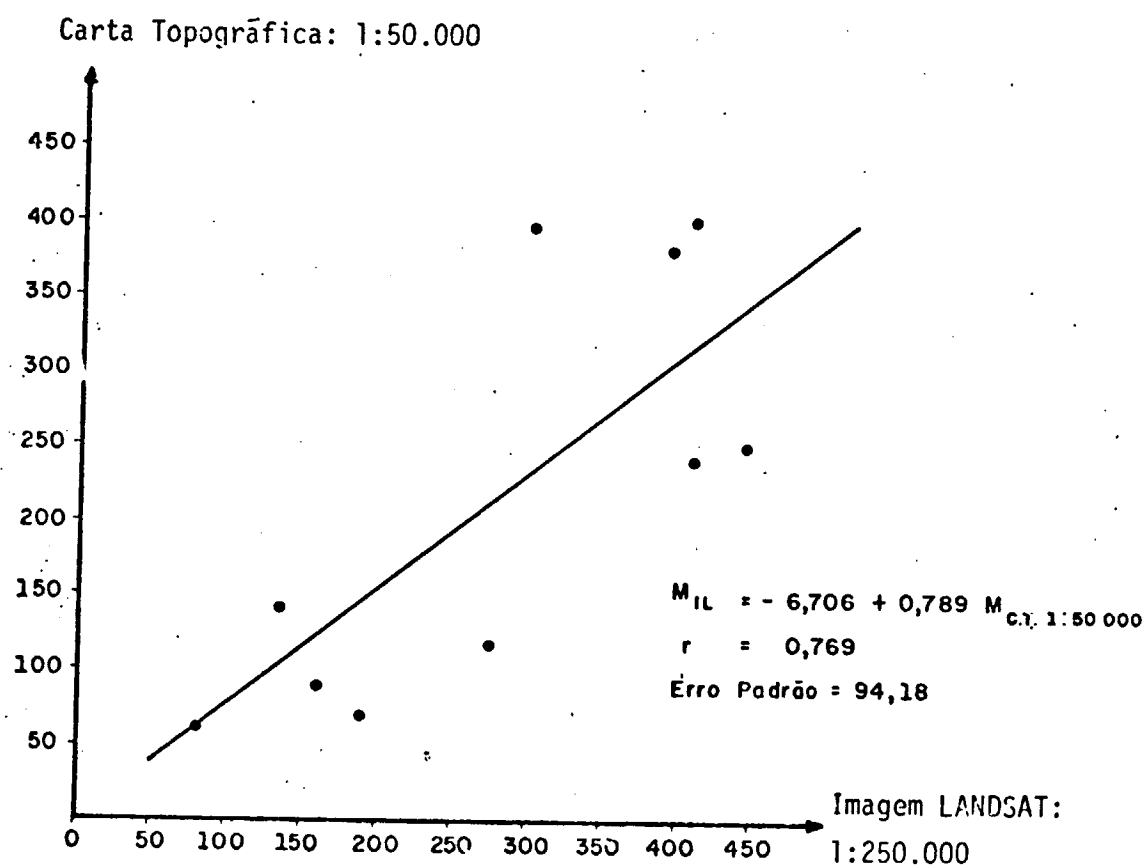


Fig. 4.37 - Relação entre a magnitude (M) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Concluindo, vê-se que na área analisada as bacias hidrográficas levantadas a partir da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 mostraram sempre um maior número de canais de primeira ordem, quando se compara com as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000. Isso também refletiu no número da ordem da bacia, pois na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 as bacias hidrográficas apresentaram sempre maior número de ordem, em relação à documentação cartográfica nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

#### 4.2.3 - RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO (Rb) E RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO (Rpb)

Como se viu anteriormente, o primeiro passo na análise das bacias hidrográficas é estabelecer a sua ordenação, segundo um método preestabelecido. Em seguida procede-se à contagem do número de canais para cada ordem individualizada. Ao fazer esse procedimento, percebe-se que o número de segmentos ou canais de uma determinada ordem é menor que o da ordem anterior e maior que o da próxima ordem, e que existe uma relação entre o número de segmentos e sua respectiva ordem.

A relação do número de segmentos de uma determinada ordem em relação ao número de segmentos de uma ordem superior é então denominada Relação de Bifurcação. Os índices de Relação de Bifurcação indicam quantas vezes aumenta ou diminui o número de canais, quando se passa de uma ordem para outra.

A relação de Bifurcação geralmente não é a mesma de uma ordem para a outra, por causa da variação da geometria dos canais, mas tende a ser constante, através da série (Strahler, 1964).

Baseando-se na Relação de Bifurcação, Horton (1945) pôde enunciar uma das leis da composição da drenagem denominada *Lei do número de canais*.

Essa lei estabelece que, em uma determinada bacia hidrográfica, a soma dos números de canais de cada ordem forma uma série geo

métrica inversa, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e cuja razão é a Relação de Bifurcação.

A verificação dessa lei pode ser feita graficamente relacionando-se a logaritmo do número de canais com a ordem das bacias, cujos pontos devem teoricamente permanecer ao longo da linha reta, o que indica que as bacias são bem estruturadas. O maior desvio da linha reta indica que as bacias apresentam problemas em sua estruturação.

Strahler (1952) alterou esse índice para poder encontrar um índice de bifurcação mais representativo, que ficou denominado Relação Ponderada da Bifurcação.

As Tabelas 4.35, 4.36 e 4.37 mostram os valores da Relação de Bifurcação e da Relação Ponderada de Bifurcação para os dados levantado através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e da documentação cartográfica nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000

Analisar-se-ão apenas os dados referentes à Relação Ponderada da Bifurcação, pois segundo Strahler (1952), eles são bastantes significativos e estão relacionados na Tabela 4.38.

Strahler (1964) mostra também que, para as bacias bem estruturadas, características dos sistemas de drenagem naturais e ausentes de controle geológico, esses valores estão por volta de 3,0 e 5,0.

Analisando-se os dados calculados nos diferentes documentos, vê-se que todas as bacias estudadas se enquadram nesses níveis, o que indica que as bacias são bem estruturadas.

A menor Rpb encontrada é a referente ao Ribeirão Pimenta e ao Ribeirão Baguaçu, cujos índices iguais a 3,51 enquadram-se dentro dos limites teóricos.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

TABELA 4.35

RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO (Rb) E RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO (Rpb)  
CALCULADAS ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT NA ESCALA DE 1:250.000

| BACIAS | RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO |       |       |       |       | RELAÇÃO<br>PONDERADA DE<br>BIFURCAÇÃO |
|--------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------|
|        | 1ª/2ª                 | 2ª/3ª | 3ª/4ª | 4ª/5ª | 5ª/6ª |                                       |
| 01     | 3,55                  | 3,75  | 6,00  | 2,00  | -     | 3,70                                  |
| 02     | 4,29                  | 5,42  | 4,00  | 3,00  | -     | 4,47                                  |
| 03     | 4,18                  | 9,00  | 2,50  | 2,00  | -     | 4,94                                  |
| 04     | 4,02                  | 5,28  | 4,20  | 5,00  | -     | 4,26                                  |
| 05     | 3,65                  | 7,40  | 5,00  | -     | -     | 4,40                                  |
| 06     | 4,25                  | 4,00  | 4,50  | 4,00  | -     | 4,69                                  |
| 07     | 3,95                  | 4,65  | 3,83  | 3,00  | 2,00  | 4,06                                  |
| 08     | 4,06                  | 5,10  | 2,71  | 3,50  | 2,00  | 4,17                                  |
| 09     | 3,68                  | 5,50  | 4,00  | -     | -     | 4,04                                  |
| 10     | 3,78                  | 5,33  | 4,20  | 5,00  | -     | 4,10                                  |

TABELA 4.36

RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO (Rb) E RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO (Rpb)  
CALCULADAS ATRAVÉS DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS NA ESCALA DE 1:250.000

| BACIAS | RELAÇÃO BIFURCAÇÃO |       |       | RELAÇÃO<br>PONDERADA DE<br>BIFURCAÇÃO |
|--------|--------------------|-------|-------|---------------------------------------|
|        | 1ª/2ª              | 2ª/3ª | 3ª/4ª |                                       |
| 01     | 4,50               | 2,00  | -     | 3,96                                  |
| 02     | 3,66               | 3,00  | -     | 3,51                                  |
| 03     | 6,50               | 2,00  | -     | 6,28                                  |
| 04     | 4,20               | 5,00  | -     | 4,35                                  |
| 05     | 5,00               | 2,00  | -     | 4,77                                  |
| 06     | 4,20               | 5,00  | -     | 4,35                                  |
| 07     | 3,60               | 3,33  | 3,00  | 3,51                                  |
| 08     | 4,07               | 3,75  | 4,00  | 4,00                                  |
| 09     | 3,33               | 3,00  | -     | 3,84                                  |
| 10     | 5,60               | 5,00  | -     | 4,82                                  |

TABELA 4.37

RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO (Rb) E RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO (Rpb)  
CALCULADAS ATRAVÉS DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS NA ESCALA DE 1:50.000

| BACIAS | RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO |       |       |       | RELAÇÃO<br>PONDERADA DE<br>BIFURCAÇÃO |
|--------|-----------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|
|        | 1ª/2ª                 | 2ª/3ª | 3ª/4ª | 4ª/5ª |                                       |
| 01     | 4,65                  | 6,66  | 3,00  | -     | 4,93                                  |
| 02     | 4,07                  | 5,80  | 5,00  | -     | 4,41                                  |
| 03     | 4,18                  | 8,50  | 2,00  | -     | 4,87                                  |
| 04     | 4,50                  | 4,15  | 3,25  | 4,00  | 4,37                                  |
| 05     | 4,80                  | 4,28  | 7,00  | -     | 4,79                                  |
| 06     | 5,04                  | 4,39  | 3,00  | 6,00  | 4,85                                  |
| 07     | 4,36                  | 4,00  | 3,50  | 4,00  | 4,25                                  |
| 08     | 5,20                  | 5,62  | 3,23  | 4,00  | 5,19                                  |
| 09     | 4,07                  | 5,00  | 3,00  | -     | 4,19                                  |
| 10     | 5,16                  | 4,16  | 4,75  | 4,00  | 4,97                                  |

TABELA 4.38

RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO (Rpb) CALCULADA ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT  
(1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO |                                  |                                 |
|--------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000)   | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 3,70                            | 3,96                             | 4,93                            |
| 02     | 4,47                            | 3,51                             | 4,41                            |
| 03     | 4,94                            | 6,28                             | 4,87                            |
| 04     | 4,26                            | 4,35                             | 4,37                            |
| 05     | 4,40                            | 4,77                             | 4,79                            |
| 06     | 4,69                            | 4,35                             | 4,86                            |
| 07     | 4,06                            | 3,51                             | 4,25                            |
| 08     | 4,17                            | 4,00                             | 5,10                            |
| 09     | 4,04                            | 3,84                             | 4,19                            |
| 10     | 4,10                            | 4,82                             | 4,97                            |

Apenas dois valores encontrados ficaram fora do limite estabelecido pela teoria; são os referentes à bacia do Ribeirão do Balsa<sub>mo</sub> (6,28), calculado na documentação cartográfica na escala de 1:250.000, e o da bacia do Ribeirão Azul (5,19), calculado com base na documentação cartográfica na escala de 1:50.000. Os demais valores altos encontrados não passaram do valor de 5,0 estabelecido, cujos índices mais próximos são iguais a 4,97 e 4,93, respectivamente, para as bacias do Ribeirão Água Parada e do Ribeirão Sapê; estes índices foram calculados com base nas cartas topográficas na escala de 1:50.000.

Como a relação de bifurcação é a base da lei hortoniana do número de canais, procura-se verificar se as bacias analisadas estão de acordo com essa lei, através da análise das Figuras 4.38, 4.39 e 4.40.

A representação gráfica em papel semi-log, que relaciona o número de canais em função das suas respectivas ordens (Tabela 4.39), mostrará uma progressão linear que será expressa através de uma reta. Quanto mais próximo estiver da linha reta, mais bem estruturadas apresentar-se-ão as bacias; quanto mais distantes, indica que existe problemas na estruturação dessas bacias.

Observando-se as Figuras 4.38, 4.39 e 4.40 pode-se verificar que, para os três documentos analisados, a progressão linear das bacias seleccionadas está em geral muito próxima da conformidade com a respectiva lei, que tende para a linha reta.

Em muitos casos, a semelhança com a linha reta é bem acentuada nos três documentos analisados, como é o caso da bacia Ribeirão Jan<sup>g</sup>ada, Ribeirão da Lontra, Córrego do Aracanguá e Ribeirão Água Parada.

Os pequenos desvios encontrados foram sempre para as ordens mais altas. Exemplificando, vê-se que as bacias do Ribeirão Sapê e Ribeirão do Bálamo, nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000, apresentam uma leve inflexão na passagem da segunda para a terceira ordem. O Ribeirão Sapê, na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, apresenta também inflexão na passagem da quarta para a quinta ordem. O Ribeirão do Bálamo, na documentação cartográfica na escala de 1:50.000, apresenta distorção na passagem da terceira para a quinta ordem.

Apesar das pequenas variações observadas, pode-se concluir que, no conjunto, as bacias analisadas se apresentam em conformidade com a lei, isto é, encontram-se bastante próximas do seu estágio de desenvolvimento máximo.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

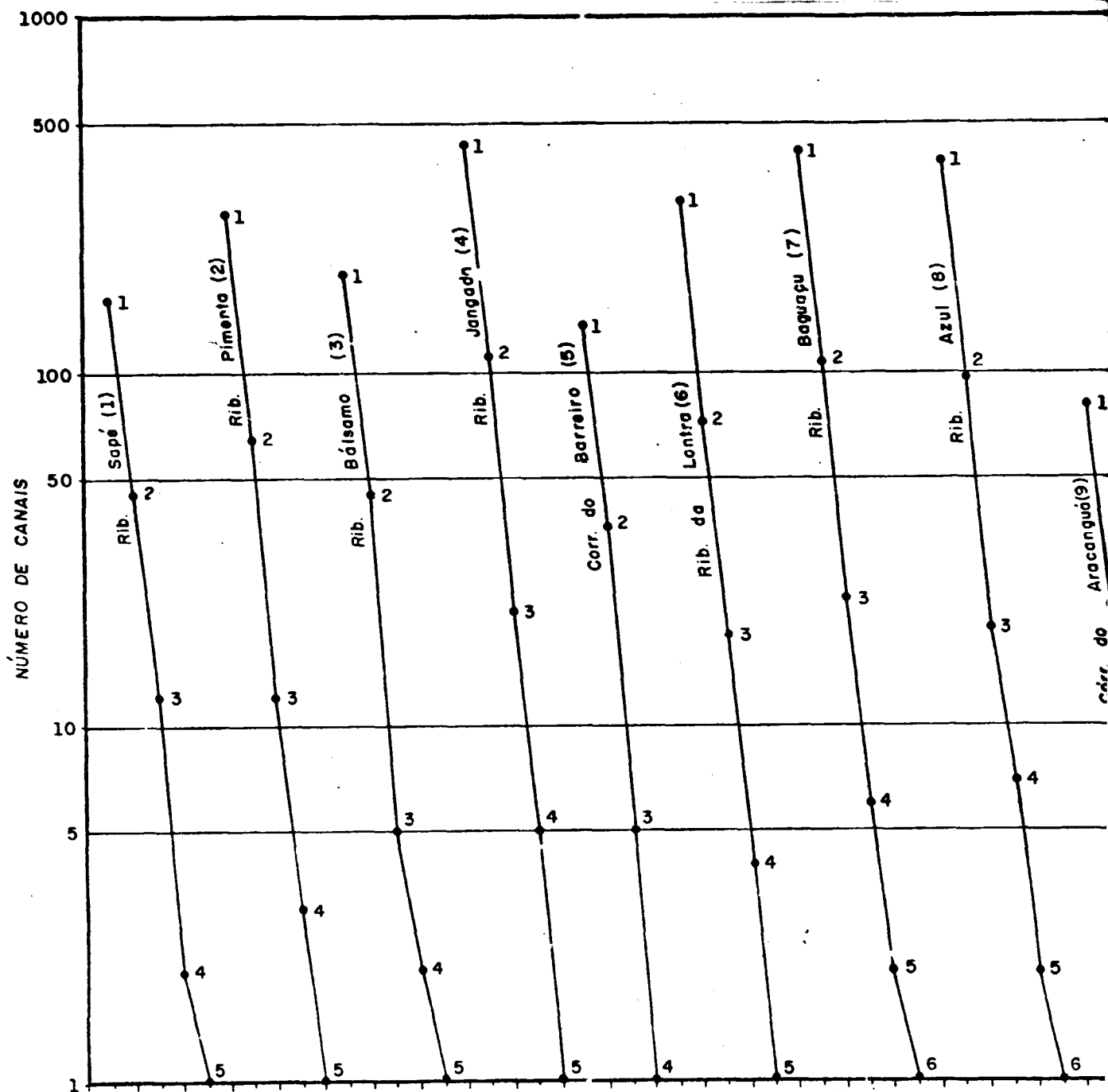


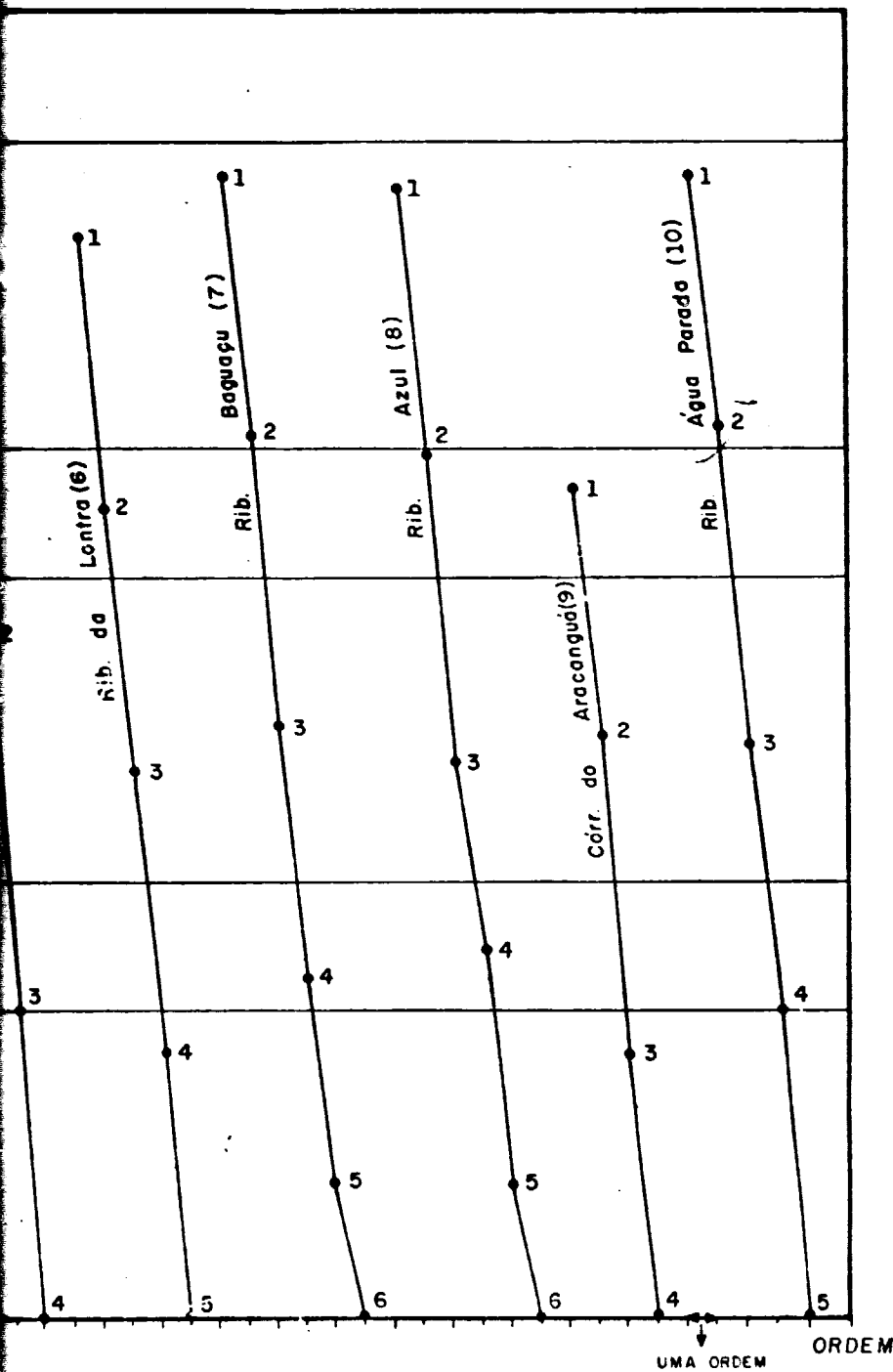
Fig. 4.38 - Relação entre o número de canais e suas respectivas ordens a partir da imagem LANDSAT (1:250.000).

C-2

FOOTNOT FRAME



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



respectivas ordens

2  
EXPLOUT FRAME



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

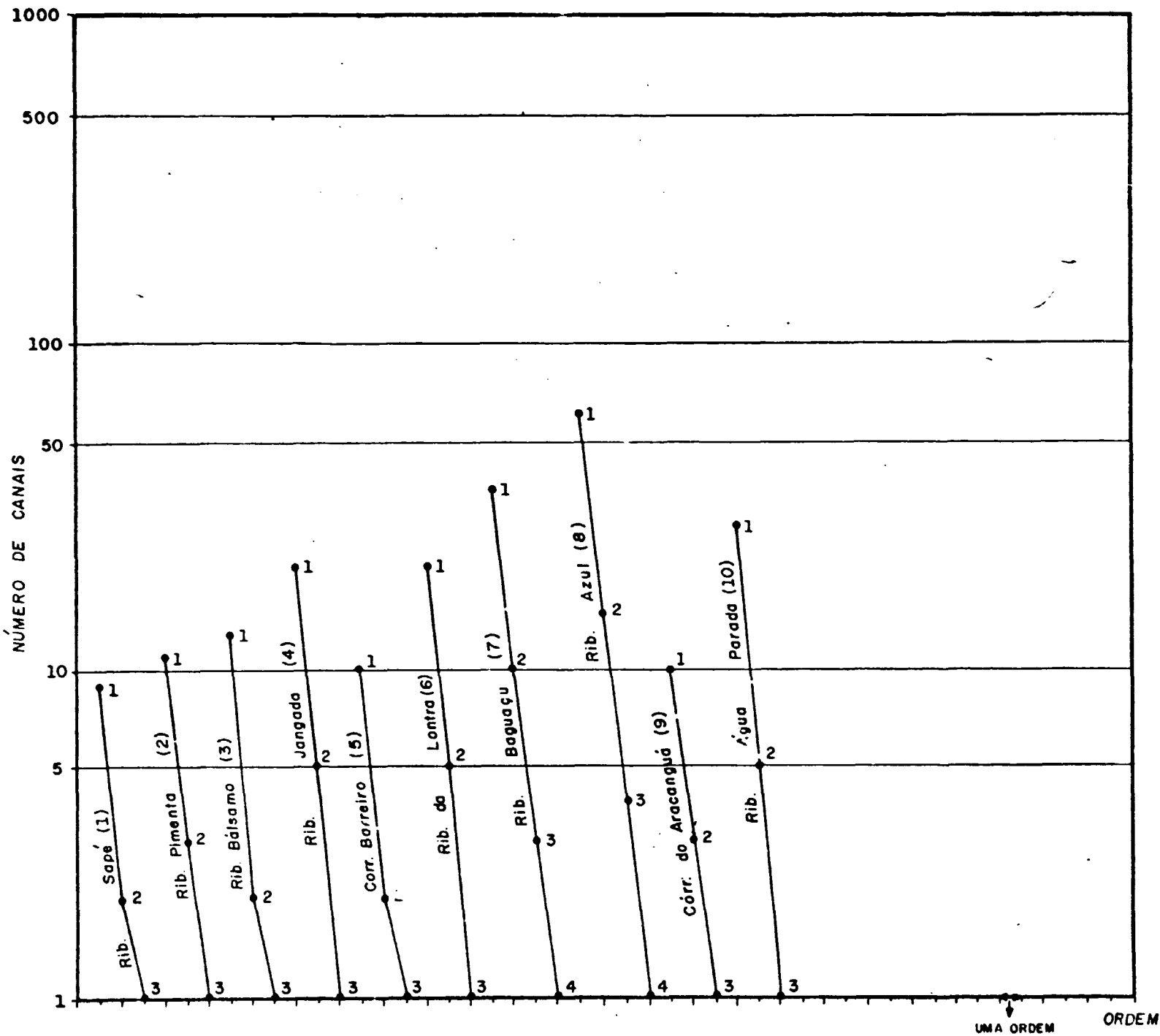


Fig. 4.39 - Relação entre o número de canais e suas respectivas ordens a partir da carta topográfica (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

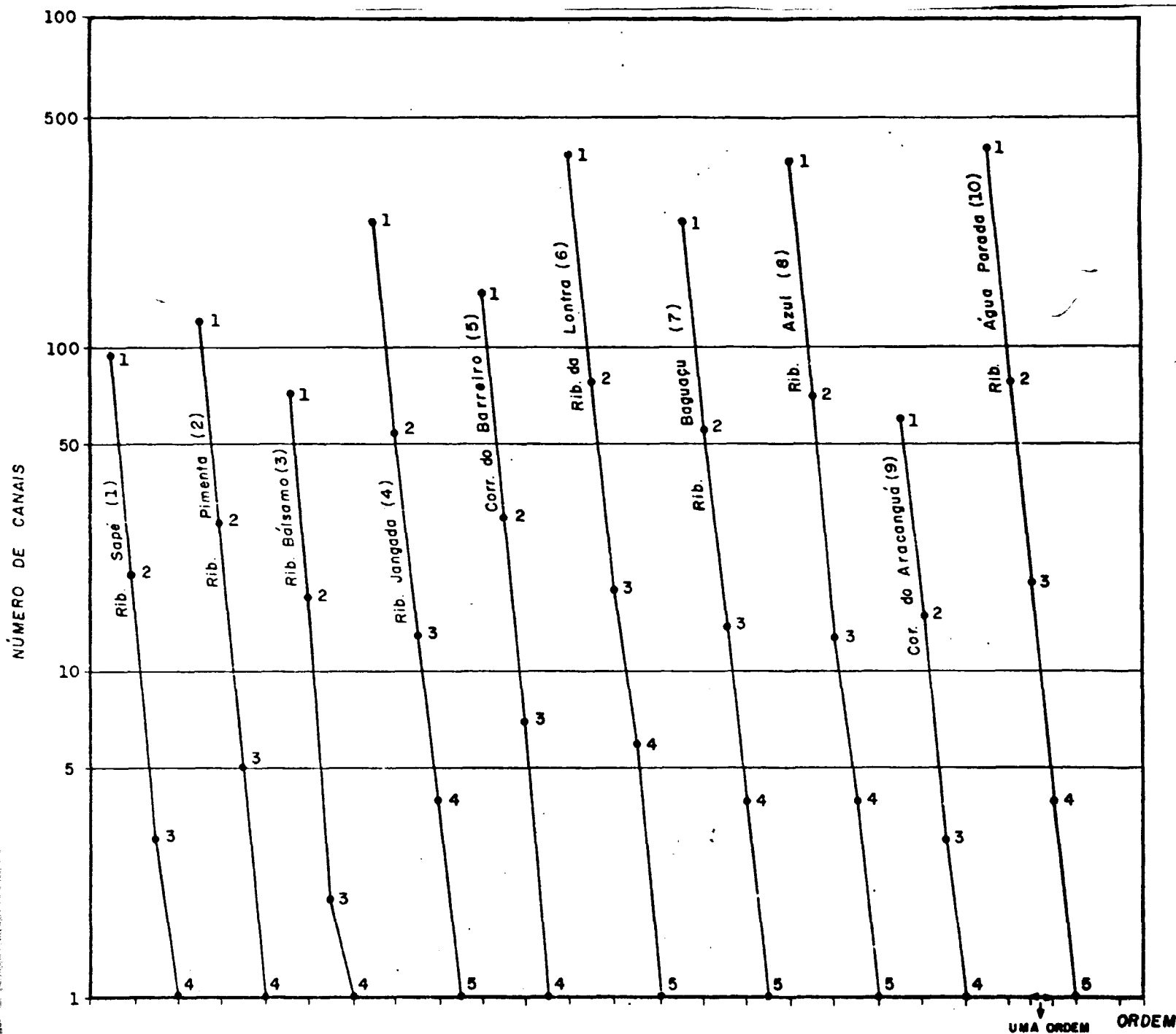


Fig. 4.40 - Relação entre o número de canais e suas respectivas ordens a partir da carta topográfica (1:50.000).

TABELA 4.39

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

**COMPRIMENTO E NÚMERO DE CANAIS EM RELAÇÃO À ORDEM  
DOS TRÊS DOCUMENTOS ANALISADOS**

| B<br>A<br>C<br>I<br>A | IMAGEM LANDSAT (1:250.000) |                  |                     |                              | CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000) |                  |                     |                              | CARTA TOPOGRÁFICA (1:50.000) |                  |                     |                              |
|-----------------------|----------------------------|------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|---------------------|------------------------------|
|                       | ORDEM                      | Nº DE<br>CANALIS | COMPRIMENTO<br>(km) | COMPRIMENTO<br>MÉDIO<br>(km) | ORDEM                         | Nº DE<br>CANALIS | COMPRIMENTO<br>(km) | COMPRIMENTO<br>MÉDIO<br>(km) | ORDEM                        | Nº DE<br>CANALIS | COMPRIMENTO<br>(km) | COMPRIMENTO<br>MÉDIO<br>(km) |
| 1                     | 1                          | 60               | 137,50              | 0,86                         | 1                             | 9                | 41,5                | 4,58                         | 1                            | 93               | 115,70              | 1,24                         |
|                       | 2                          | 45               | 51,70               | 1,15                         | 2                             | 2                | 10,25               | 5,12                         | 2                            | 20               | 43,30               | 2,17                         |
|                       | 3                          | 12               | 26,50               | 2,21                         | 3                             | 1                | 20,00               | 20,00                        | 3                            | 3                | 15,00               | 5,00                         |
|                       | 4                          | 72               | 6,50                | 3,25                         | 12                            | 12               | 71,50               |                              | 4                            | 1                | 25,00               | 25,00                        |
|                       | 5                          | 1                | 20,00               | 20,00                        |                               |                  |                     |                              | 117                          | 159,20           |                     |                              |
| 2                     | 220                        | 242,20           |                     |                              |                               |                  |                     |                              |                              |                  |                     |                              |
|                       | 1                          | 278              | 231,20              | 0,83                         | 1                             | 11               | 59,00               | 5,36                         | 1                            | 118              | 128,80              | 1,09                         |
|                       | 2                          | 65               | 81,75               | 1,26                         | 2                             | 3                | 16,25               | 5,42                         | 2                            | 29               | 47,30               | 1,63                         |
|                       | 3                          | 12               | 31,50               | 2,62                         | 3                             | 1                | 13,75               | 13,75                        | 3                            | 5                | 36,70               | 7,34                         |
|                       | 4                          | 3                | 16,50               | 6,17                         | 15                            | 15               | 88,97               |                              | 4                            | 1                | 23,00               | 23,00                        |
| 3                     | 5                          | 1                | 17,50               | 17,50                        |                               |                  |                     |                              | 153                          | 235,80           |                     |                              |
|                       | 359                        | 380,45           |                     |                              |                               |                  |                     |                              |                              |                  |                     |                              |
|                       | 1                          | 189              | 153,00              | 0,81                         | 1                             | 13               | 45,00               | 3,54                         | 1                            | 71               | 98,20               | 1,38                         |
|                       | 2                          | 45               | 66,75               | 1,48                         | 2                             | 2                | 18,75               | 9,37                         | 2                            | 17               | 28,80               | 1,69                         |
|                       | 3                          | 5                | 13,25               | 2,65                         | 3                             | 1                | 15,00               | 10,00                        | 3                            | 2                | 23,00               | 11,50                        |
| 4                     | 4                          | 2                | 16,25               | 8,12                         | 16                            | 16               | 74,75               |                              | 4                            | 1                | 14,00               | 14,00                        |
|                       | 5                          | 1                | 10,00               | 10,00                        |                               |                  |                     |                              | 91                           | 164,00           |                     |                              |
|                       | 242                        | 259,25           |                     |                              |                               |                  |                     |                              |                              |                  |                     |                              |
|                       | 1                          | 446              | 312,30              | 0,70                         | 1                             | 21               | 101,45              | 4,82                         | 1                            | 243              | 208,30              | 0,82                         |
|                       | 2                          | 111              | 119,25              | 1,07                         | 2                             | 5                | 27,35               | 5,45                         | 2                            | 54               | 91,30               | 1,69                         |
| 5                     | 3                          | 22               | 58,50               | 2,78                         | 3                             | 1                | 25,00               | 25,00                        | 3                            | 13               | 49,00               | 3,77                         |
|                       | 4                          | 5                | 38,50               | 7,70                         | 27                            | 27               | 153,50              |                              | 4                            | 4                | 25,20               | 6,30                         |
|                       | 5                          | 1                | 27,50               | 27,50                        |                               |                  |                     |                              | 5                            | 1                | 26,00               | 26,00                        |
|                       | 584                        | 556,05           |                     |                              |                               |                  |                     |                              | 315                          | 400,10           |                     |                              |
|                       | 1                          | 135              | 115,50              | 0,85                         | 1                             | 10               | 35,75               | 3,57                         | 1                            | 144              | 96,40               | 0,67                         |
| 6                     | 2                          | 37               | 48,50               | 1,31                         | 2                             | 2                | 7,00                | 3,50                         | 2                            | 30               | 46,20               | 1,54                         |
|                       | 3                          | 5                | 12,50               | 2,50                         | 3                             | 1                | 12,50               | 12,50                        | 3                            | 7                | 12,00               | 1,71                         |
|                       | 4                          | 1                | 17,50               | 17,50                        | 13                            | 13               | 55,25               |                              | 4                            | 1                | 25,00               | 25,00                        |
|                       | 178                        | 149,00           |                     |                              |                               |                  |                     |                              | 132                          | 179,00           |                     |                              |
|                       |                            |                  |                     |                              |                               |                  |                     |                              |                              |                  |                     |                              |
| 7                     | 1                          | 306              | 231,50              | 0,76                         | 1                             | 25               | 81,25               | 3,87                         | 1                            | 398              | 258,50              | 0,65                         |
|                       | 2                          | 72               | 89,25               | 1,24                         | 2                             | 5                | 21,00               | 4,20                         | 2                            | 79               | 123,40              | 1,56                         |
|                       | 3                          | 18               | 41,75               | 2,32                         | 3                             | 1                | 22,50               | 22,50                        | 3                            | 18               | 39,60               | 2,20                         |
|                       | 4                          | 4                | 16,75               | 4,19                         | 27                            | 27               | 124,75              |                              | 4                            | 6                | 24,00               | 4,00                         |
|                       | 5                          | 1                | 25,00               | 25,00                        |                               |                  |                     |                              | 5                            | 1                | 27,00               | 27,00                        |
| 8                     | 401                        | 404,25           |                     |                              |                               |                  |                     |                              | 502                          | 472,50           |                     |                              |
|                       | 1                          | 423              | 442,75              | 1,05                         | 1                             | 36               | 155,25              | 4,31                         | 1                            | 244              | 249,10              | 1,02                         |
|                       | 2                          | 107              | 147,00              | 1,37                         | 2                             | 10               | 58,75               | 5,87                         | 2                            | 56               | 124,60              | 2,23                         |
|                       | 3                          | 23               | 71,50               | 3,11                         | 3                             | 3                | 20,25               | 6,75                         | 3                            | 14               | 56,40               | 4,03                         |
|                       | 4                          | 6                | 24,75               | 4,12                         | 4                             | 1                | 40,00               | 40,00                        | 4                            | 4                | 27,00               | 6,75                         |
| 9                     | 5                          | 2                | 26,25               | 13,12                        | 50                            | 50               | 274,25              |                              | 5                            | 1                | 56,00               | 56,00                        |
|                       | 6                          | 1                | 32,50               | 32,50                        |                               |                  |                     |                              | 319                          | 513,30           |                     |                              |
|                       | 562                        | 744,75           |                     |                              |                               |                  |                     |                              |                              |                  |                     |                              |
|                       | 1                          | 394              | 483,40              | 1,24                         | 1                             | 61               | 265,20              | 4,35                         | 1                            | 360              | 448,90              | 1,18                         |
|                       | 2                          | 97               | 193,25              | 1,98                         | 2                             | 15               | 61,75               | 4,12                         | 2                            | 72               | 153,60              | 2,10                         |
| 10                    | 3                          | 19               | 89,00               | 4,68                         | 3                             | 4                | 95,00               | 23,75                        | 3                            | 13               | 84,00               | 6,46                         |
|                       | 4                          | 7                | 72,75               | 10,39                        | 4                             | 1                | 22,50               | 22,50                        | 4                            | 4                | 83,00               | 20,75                        |
|                       | 5                          | 2                | 47,50               | 23,75                        | 82                            | 82               | 444,45              |                              | 5                            | 1                | 25,00               | 25,00                        |
|                       | 6                          | 1                | 22,50               | 22,50                        |                               |                  |                     |                              | 470                          | 794,50           |                     |                              |
|                       | 523                        | 513,40           |                     |                              |                               |                  |                     |                              |                              |                  |                     |                              |
| 11                    | 1                          | 81               | 99,25               | 1,23                         | 1                             | 10               | 38,25               | 3,82                         | 1                            | 61               | 81,10               | 1,33                         |
|                       | 2                          | 22               | 40,75               | 1,85                         | 2                             | 3                | 17,50               | 5,83                         | 2                            | 15               | 24,30               | 1,62                         |
|                       | 3                          | 4                | 27,75               | 6,94                         | 3                             | 1                | 8,00                | 8,00                         | 3                            | 3                | 26,00               | 8,67                         |
|                       | 4                          | 1                | 12,50               | 12,50                        | 14                            | 14               | 63,50               |                              | 4                            | 1                | 12,00               | 12,00                        |
|                       | 108                        | 160,25           |                     |                              |                               |                  |                     |                              | 80                           | 143,30           |                     |                              |
| 12                    | 1                          | 424              | 395,25              | 0,93                         | 1                             | 20               | 155,50              | 5,55                         | 1                            | 408              | 367,80              | 0,90                         |
|                       | 2                          | 112              | 174,80              | 1,56                         | 2                             | 5                | 30,00               | 6,00                         | 2                            | 79               | 171,40              | 2,17                         |
|                       | 3                          | 21               | 84,25               | 4,01                         | 3                             | 1                | 45,00               | 45,00                        | 3                            | 19               | 78,00               | 4,11                         |
|                       | 4                          | 5                | 39,75               | 7,95                         | 34                            | 34               | 230,00              |                              | 4                            | 4                | 32,00               | 8,00                         |
|                       | 5                          | 1                | 45,00               | 45,00                        |                               |                  |                     |                              | 5                            | 1                | 39,00               | 39,00                        |
|                       | 563                        | 739,05           |                     |                              |                               |                  |                     |                              | 511                          | 608,20           |                     |                              |

As Figuras 4.41 e 4.42 mostram a relação entre os valores de Relação Ponderada de Bifurcação levantados a partir da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e das cartas topográficas na escala de 1:250.000 e 1:50.000. No primeiro caso, vê-se que existe correlação linear positiva entre esses valores, que apresentam coeficiente de correlação igual a 0,628. Já no segundo caso, nota-se a ausência de correlação entre os dados, que apresentam um coeficiente de correlação igual a 0,113, que é um valor muito baixo.

Após a análise dessa variável, ficou claro que todos os documentos são válidos para o seu cálculo, mas vê-se que a documentação cartográfica na escala de 1:50.000 foi a que apresentou valores maiores em relação a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e às cartas topográficas na escala de 1:250.000.

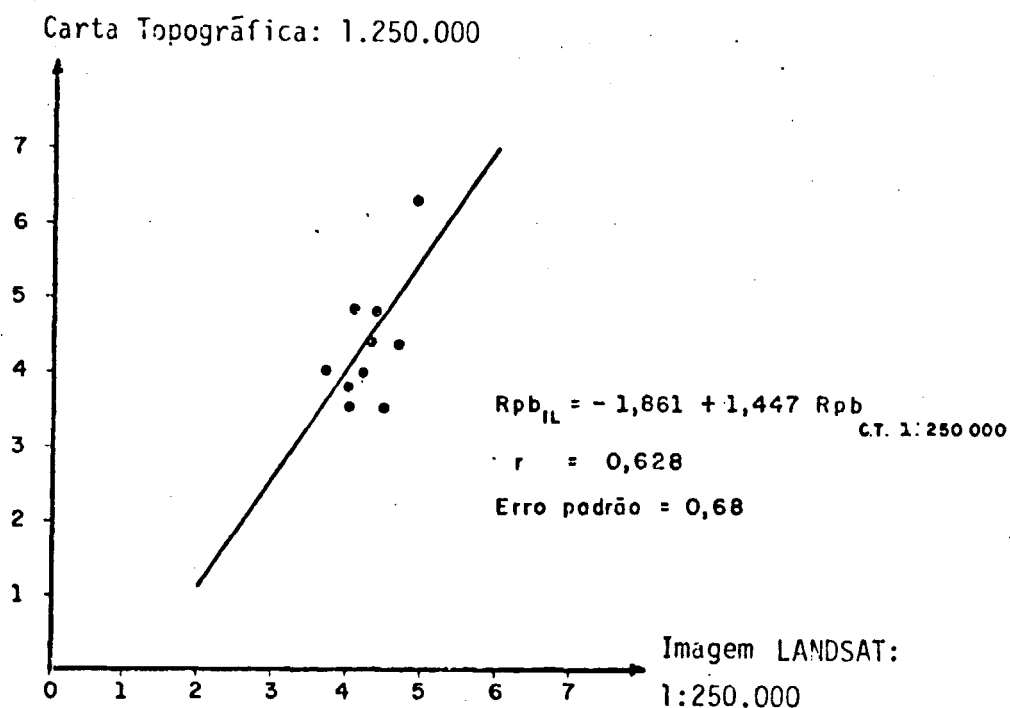


Fig. 4.41 - Relação entre a relação ponderada de bifurcação (Rpb) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

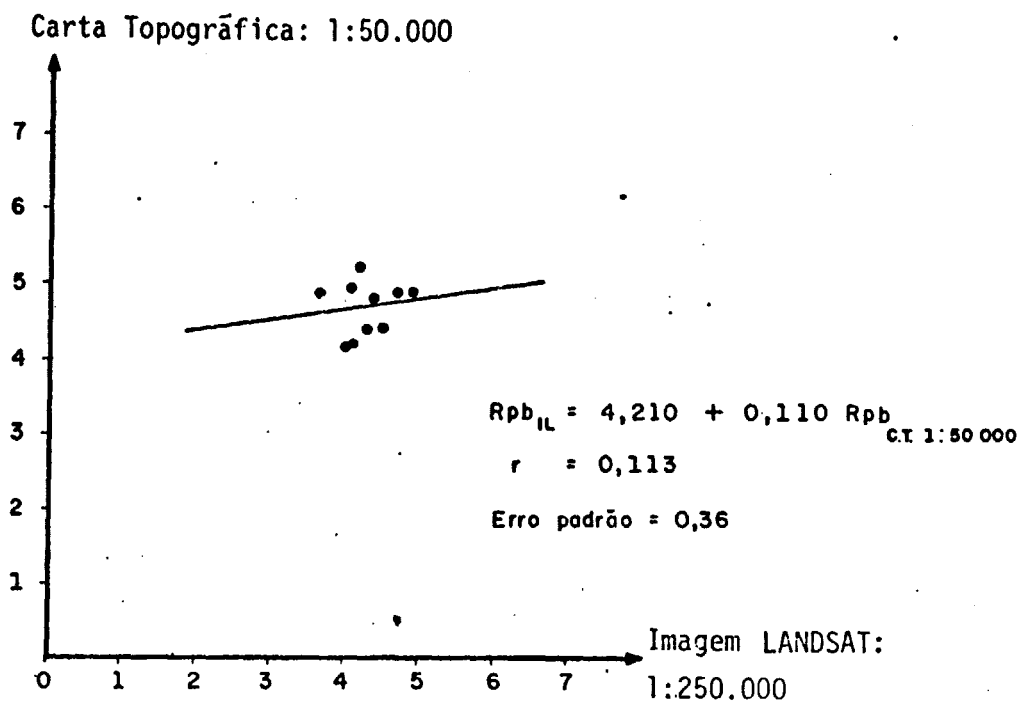


Fig. 4.42 - Relação entre a relação ponderada de bifurcação (Rpb) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Isso pode ser explicado pela diminuição do número de canais, quando se passa de uma determinada ordem para uma ordem superior. Assim vê-se que na carta topográfica na escala de 1:50.000 há uma diminuição maior do número de canais quando se passa de uma determinada ordem para uma ordem superior. Esse fato pode ser mais bem esclarecido quando se passa a analisar os segmentos.

#### 4.2.4 - SEGMENTOS

Entende-se por segmento o trecho do rio ou canal ao longo do qual, a ordem (segundo Strahler) que lhe é associada permanece constante. Calculou-se o número de segmentos para cada ordem, cujos resultados obtidos foram lançados nas Tabelas 4.40, 4.41, 4.42 e 4.43. Analisando-se esses dados, percebe-se que na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 aparece sempre maior número de segmentos para cada ordem, havendo sempre uma diminuição constante maior ou menor de uma ordem para outra.

TABELA 4.40

NÚMERO DE SEGMENTOS CALCULADOS ATRAVÉS DA  
IMAGEM LANDSAT (1:250.000)

| BACIAS | SEGMENTOS   |             |             |             |             |             | TOTAL |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
|        | 1ª<br>ORDEM | 2ª<br>ORDEM | 3ª<br>ORDEM | 4ª<br>ORDEM | 5ª<br>ORDEM | 6ª<br>ORDEM |       |
| 01     | 160         | 45          | 12          | 2           | 1           | -           | 220   |
| 02     | 278         | 65          | 12          | 3           | 1           | -           | 359   |
| 03     | 189         | 45          | 5           | 2           | 1           | -           | 242   |
| 04     | 446         | 111         | 21          | 5           | 1           | -           | 584   |
| 05     | 135         | 37          | 5           | 1           | -           | -           | 178   |
| 06     | 306         | 72          | 18          | 4           | 1           | -           | 401   |
| 07     | 423         | 107         | 23          | 6           | 2           | 1           | 562   |
| 08     | 394         | 97          | 19          | 7           | 2           | 1           | 523   |
| 09     | 81          | 22          | 4           | 1           | -           | -           | 108   |
| 10     | 424         | 112         | 21          | 5           | 1           | -           | 563   |

TABELA 4.41

NÚMERO DE SEGMENTOS CALCULADOS ATRAVÉS DA  
CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000)

| BACIAS | SEGMENTOS   |             |             |             |             | TOTAL |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
|        | 1ª<br>ORDEM | 2ª<br>ORDEM | 3ª<br>ORDEM | 4ª<br>ORDEM | 5ª<br>ORDEM |       |
| 01     | 9           | 2           | 1           | -           | -           | 12    |
| 02     | 11          | 3           | 1           | -           | -           | 15    |
| 03     | 13          | 2           | 1           | -           | -           | 16    |
| 04     | 21          | 5           | 1           | -           | -           | 27    |
| 05     | 10          | 2           | 1           | -           | -           | 13    |
| 06     | 21          | 5           | 1           | -           | -           | 27    |
| 07     | 36          | 10          | 3           | 1           | -           | 50    |
| 08     | 61          | 15          | 4           | 1           | -           | 81    |
| 09     | 10          | 3           | 1           | -           | -           | 14    |
| 10     | 28          | 5           | 1           | -           | -           | 34    |

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

TABELA 4.42

NÚMERO DE SEGMENTOS CALCULADOS ATRAVÉS DA  
CARTA TOPOGRÁFICA (1:50.000)

| BACIAS | SEGMENTOS   |             |             |             |             | TOTAL |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
|        | 1ª<br>ORDEM | 2ª<br>ORDEM | 3ª<br>ORDEM | 4ª<br>ORDEM | 5ª<br>ORDEM |       |
| 01     | 93          | 20          | 3           | 1           | -           | 117   |
| 02     | 118         | 29          | 5           | 1           | -           | 153   |
| 03     | 71          | 17          | 2           | 1           | -           | 91    |
| 04     | 243         | 54          | 13          | 4           | 1           | 315   |
| 05     | 144         | 30          | 7           | 1           | 1           | 182   |
| 06     | 398         | 79          | 18          | 6           | 1           | 502   |
| 07     | 244         | 56          | 14          | 4           | 1           | 319   |
| 08     | 380         | 72          | 13          | 4           | 1           | 470   |
| 09     | 61          | 15          | 3           | 1           | -           | 80    |
| 10     | 408         | 79          | 19          | 4           | 1           | 511   |



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

TABELA 4.43

NÚMERO DE SEGMENTOS, CALCULADOS ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)  
E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | SEGMENTOS                     |                                  |                                 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 220                           | 12                               | 117                             |
| 02     | 359                           | 15                               | 153                             |
| 03     | 242                           | 16                               | 91                              |
| 04     | 584                           | 27                               | 315                             |
| 05     | 178                           | 13                               | 182                             |
| 06     | 401                           | 27                               | 502                             |
| 07     | 562                           | 60                               | 319                             |
| 08     | 523                           | 81                               | 470                             |
| 09     | 108                           | 14                               | 80                              |
| 10     | 563                           | 34                               | 511                             |

Já nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, as diferenças do número de canais de uma ordem para a outra são mais acentuadas, o que dá um número maior para a Relação de Bifurcação.

Quanto ao número total de segmentos para cada bacia (Tabela 4.43), vê-se que há sempre número maior de segmentos para as diversas ordens na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 do que nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

Calcula-se a diferença em porcentagem do número de segmentos totais, cujos dados obtidos estão relacionados na Tabela 4.44. Essa tabela mostra claramente que a diferença entre os dados levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas em ambas as escalas são muito acentuadas, apresentando uma diferença média total entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:250.000 de aproximadamente 1395%, enquanto a diferença média total entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:50.000 esta por volta de 64,4%.

As Figuras 4.43 e 4.44 mostram a relação entre os valores totais de segmentos calculados para os diferentes documentos. No primeiro caso, vê-se uma correlação muito baixa entre os dados levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas na escala de 1:250.000. Há maior variabilidade nos dados referentes à imagem LANDSAT. Assim, aos diferentes valores encontrados na imagem LANDSAT, que apresentam coeficiente de correlação igual a 0,676, correspondem valores baixos na carta topográfica na escala de 1:250.000.

A Figura 4.44 já mostra maior correlação dos valores calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas na escala de 1:50.000. Os dados apresentam maior dispersão, e correspondência; aos valores altos na imagem LANDSAT, correspondem valores altos nas cartas topográficas; essa correspondência também se verificar para os valores menores. O coeficiente de correlação é igual a 0,778, que indica correlação linear positiva.

Finalizando, vê-se que para a área analisada, a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 apresentou sempre maior número de canais para cada ordem, quando comparada com a documentação cartográfica em ambas as escalas.

Nota-se também que, mesmo entre as cartas topográficas, há grandes diferenças em relação a essa variável; as cartas topográficas na escala de 1:50.000 dão valores mais próximos dos valores da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 do que as cartas topográficas na escala de 1:250.000

TABELA 4.44

NÚMERO DE SEGMENTOS

| BACIAS                      | DIFERENÇAS EM PORCENTAGEM DO NÚMERO DE SEGMENTOS<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|---|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)  | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 1733,3  | 88,0                            |
| 02                          | 2253,3  | 134,6                           |
| 03                          | 1412,5  | 165,9                           |
| 04                          | 2062,9  | 85,4                            |
| 05                          | 1269,2  | - 2,2                           |
| 06                          | 1385,2  | -20,1                           |
| 07                          | 1024,0  | 76,2                            |
| 08                          | 545,7   | 71,3                            |
| 09                          | 671,4   | 35,0                            |
| 10                          | 1555,9  | 10,2                            |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 1395,3\%$  | $\bar{D} = 64,4\%$              |

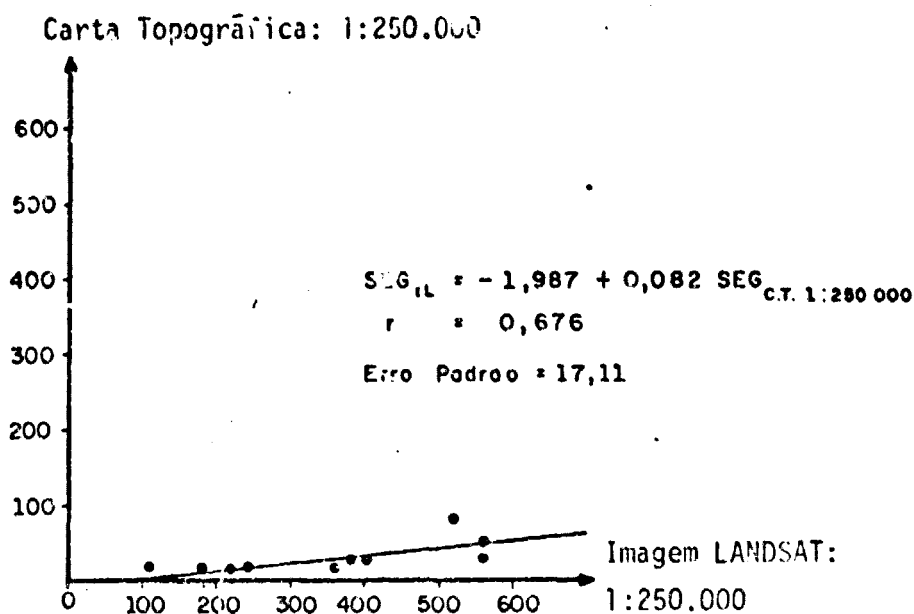


Fig. 4.43 - Relação entre os segmentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

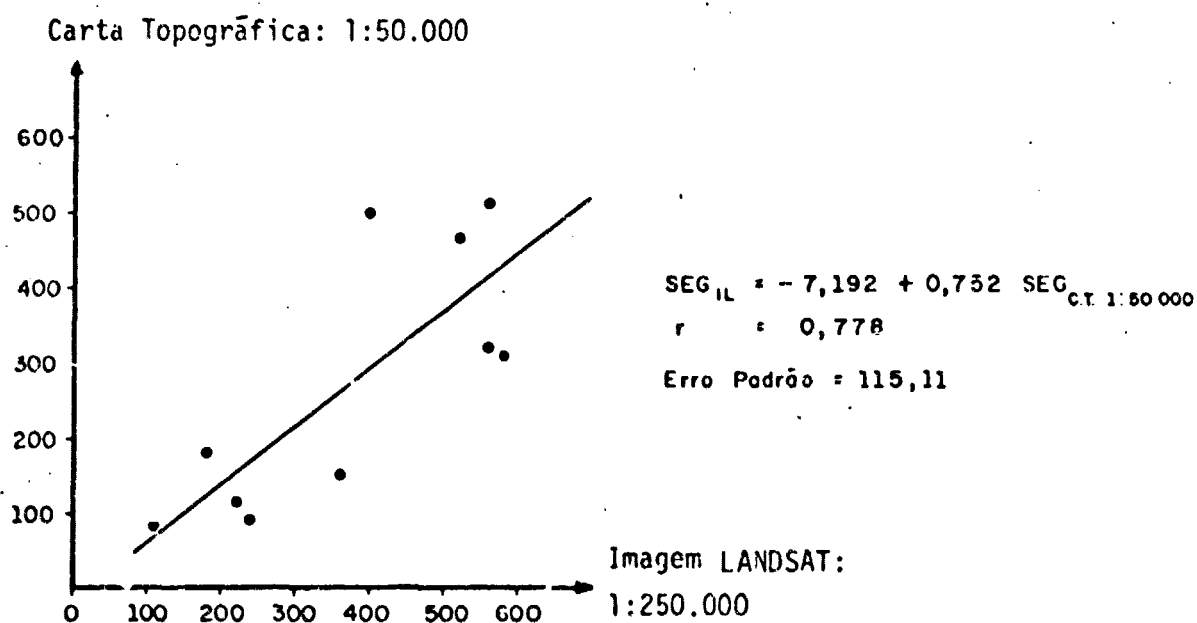


Fig. 4.41 - Relação entre os segmentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

Isso pode ser explicado pelo fato de que a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 mostrou sempre maior riqueza de detalhe para essa área estudada apresentando maior número de canais hidrográficos para cada ordem.

Essa breve análise mostrou que, na região estudada, essa variável pode ser perfeitamente calculada a partir das imagens na escala de 1:250.000.

#### 4.2.5 - LIGAMENTOS

Conforme se viu anteriormente, o conceito de ligamento diz respeito aos trechos de/ou segmentos que não recebem afluentes, estendendo-se entre uma fonte e primeira confluência, a jusante, entre duas junções consecutivas, ou entre a desembocadura e a primeira junção, ã montante.

O conceito de ligamento é também importante para a anãlise topológica de redes hidrográficas. Shreve (1966), citado por Christofolotti (1973), mostra "que para os estudos topológicos, a rede de canais é entendida como apresentando uma, e somente uma, trajetória entre dois pontos quaisquer, na qual todo ligamento em direção de montante conecta-se com dois outros ligamentos ou termina em uma nascente". Com base nessa definição, Shreve (1966) também deduziu que toda rede de canais com  $n$  fontes terá  $n - 1$  junções e  $2n - 1$  ligamentos, dos quais  $n$  serão ligamentos exteriores e  $n - 1$  interiores.

Shreve (1966) observou que as redes de canais com igual número de ligamentos tem quantidade igual de confluência, de nascentes, de canais conforme Horton e de canais de primeira ordem conforme Strahler; por essa razão, são comparáveis em sua complexidade topolôgica (Christofolotti, 1973)

O conceito de ligamento é então muito importante para compreender as diferentes combinações topológicas das redes hidrográficas. Neste caso, far-se-á apenas uma análise sucinta dos valores encontrados para essa variável, quando medida em três tipos de documentação diferente; imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, sem entrar no mérito de sua complexidade topológica.

Os dados calculados para essa variável encontram-se relacionados nas Tabelas 4.45, 4.46, 4.47 e 4.48. Analisando-se a Tabela 4.48, que mostra o número de ligamentos total para cada bacia, vê-se a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 apresenta novamente os maiores valores, seguindo-se valores relativos às cartas topográficas na escala de 1:50.000 e, por último, os valores das cartas topográficas na escala de 1:250.000.

TABELA 4.45

NÚMERO DE LIGAMENTOS CALCULADOS ATRAVÉS  
DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)

| BACIAS | LIGAMENTOS EXTERIORES | LIGAMENTOS INTERIORES | TOTAL |
|--------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 01     | 160                   | 159                   | 319   |
| 02     | 278                   | 277                   | 555   |
| 03     | 189                   | 188                   | 377   |
| 04     | 446                   | 445                   | 891   |
| 05     | 135                   | 134                   | 269   |
| 06     | 306                   | 305                   | 611   |
| 07     | 423                   | 422                   | 845   |
| 08     | 394                   | 393                   | 787   |
| 09     | 81                    | 80                    | 161   |
| 10     | 424                   | 423                   | 847   |

TABELA 4.46

NÚMERO DE LIGAMENTOS CALCULADOS ATRAVÉS DAS  
CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000)

| BACIAS | LIGAMENTOS EXTERIORES | LIGAMENTOS INTERIORES | TOTAL |
|--------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 01     | 9                     | 8                     | 17    |
| 02     | 11                    | 10                    | 21    |
| 03     | 13                    | 12                    | 25    |
| 04     | 21                    | 19                    | 40    |
| 05     | 10                    | 9                     | 19    |
| 06     | 21                    | 19                    | 40    |
| 07     | 36                    | 35                    | 71    |
| 08     | 61                    | 60                    | 121   |
| 09     | 10                    | 9                     | 19    |
| 10     | 28                    | 27                    | 55    |

TABELA 4.47

NÚMERO DE LIGAMENTOS CALCULADOS ATRAVÉS DAS  
CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:50.000)

| BACIAS | LIGAMENTOS EXTERIORES | LIGAMENTOS INTERIORES | TOTAL |
|--------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 01     | 93                    | 93                    | 185   |
| 02     | 118                   | 117                   | 235   |
| 03     | 71                    | 70                    | 141   |
| 04     | 243                   | 242                   | 485   |
| 05     | 144                   | 143                   | 287   |
| 06     | 398                   | 397                   | 795   |
| 07     | 244                   | 243                   | 487   |
| 08     | 380                   | 60                    | 759   |
| 09     | 61                    | 60                    | 121   |
| 10     | 408                   | 407                   | 815   |

TABELA 4.48

NÚMERO DE LIGAMENTOS CALCULADO ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000) E  
DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | LIGAMENTOS EXTERIORES | LIGAMENTOS INTERIORES | TOTAL |
|--------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 01     | 319                   | 17                    | 185   |
| 02     | 55                    | 21                    | 235   |
| 03     | 377                   | 25                    | 141   |
| 04     | 891                   | 40                    | 485   |
| 05     | 269                   | 19                    | 287   |
| 06     | 611                   | 40                    | 795   |
| 07     | 845                   | 71                    | 487   |
| 08     | 787                   | 121                   | 759   |
| 09     | 161                   | 19                    | 121   |
| 10     | 847                   | 55                    | 815   |

A explicação para esse fato está relacionada com o maior número de detalhes apresentados pela imagem LANDSAT, fazendo com que apareça sempre número maior de ligamentos na imagem LANDSAT do que na documentação cartográfica, em ambas as escalas.

Analisando-se as Figuras 4.45 e 4.46, pode-se observar a relação entre os valores de ligamentos obtidos nos documentos analisados. Assim, nota-se que os valores de ligamentos com coeficiente de correlação igual a 0,550 apresentam baixa correlação, quando calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas na escala de 1:250.000. Já na Figura 4.46 observa-se que os valores de ligamentos calculados na carta topográfica na escala de 1:50.000 mostram maior correlação com os valores da imagem LANDSAT. Apesar de haver cer



ta dispersão dos valores ao longo da reta, vê-se que o coeficiente de correlação, 0,769, já é mais elevado para essa relação.

Isso mostra claramente que também para essa variável há uma aproximação dos valores quando calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, mostrando que as imagens orbitais do satélite LANDSAT podem muito bem ser usadas para fazer o cálculo dessa variável, em áreas semelhantes à que se está analisando, sem prejuízos dos resultados.

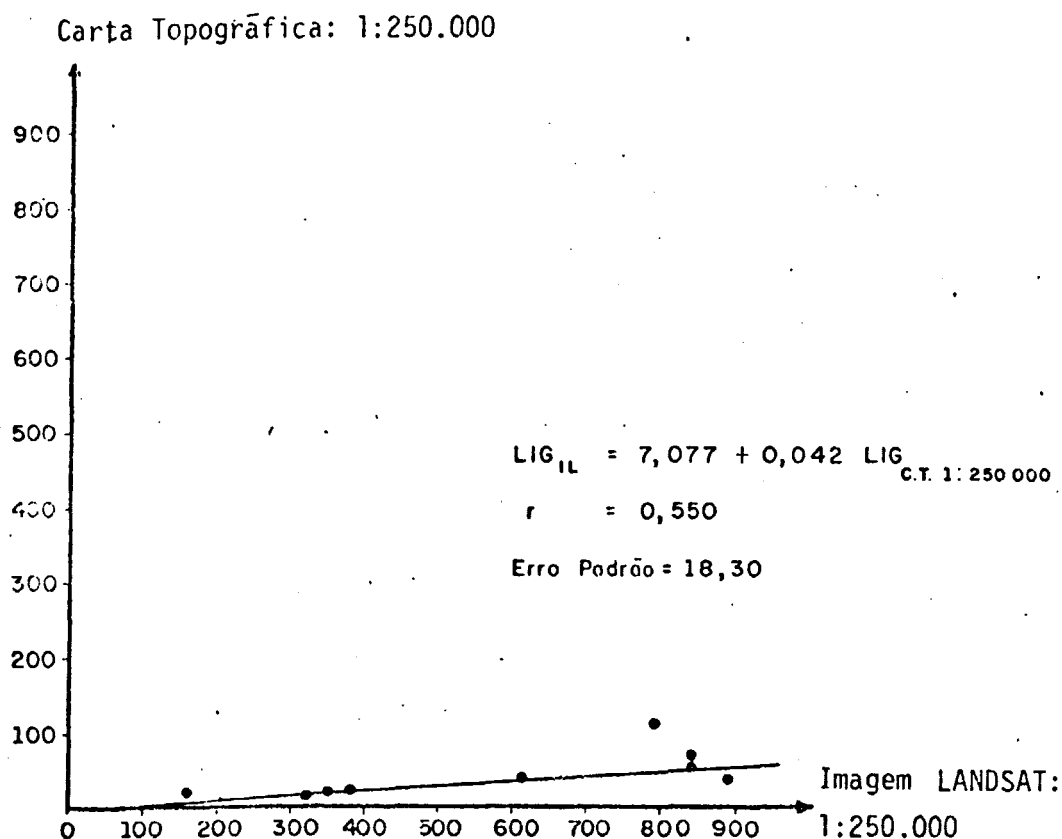


Fig. 4.45 - Relação entre os ligamentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

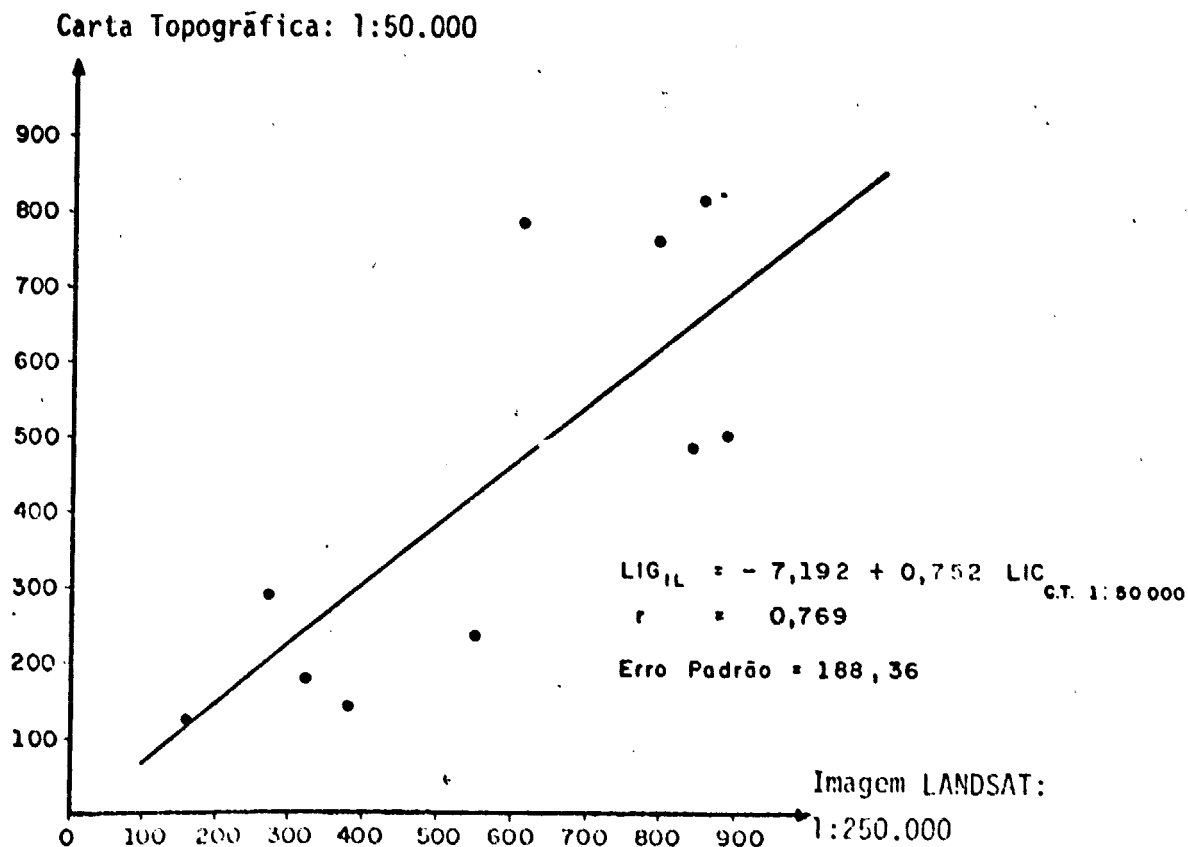


Fig. 4.46 - Relação entre os ligamentos na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

#### 4.2.6 - COMPRIMENTO DA TRAJETÓRIA (T)

Na análise topológica de redes fluviais, a preocupação constante dos pesquisadores é classificar as redes de canais com base nos aspectos topológicos. Assim, vê-se que Shreve (1966) derivou o conceito de população topologicamente aleatória, definida como a "população dentro da qual toda rede topologicamente distinta, com igual número de ligamentos, tem a mesma possibilidade de ocorrer" (Christofolotti, 1973).

Uma outra classificação foi proposta por Smart (1969), denominada classes ambilaterais, em que as redes de mesma magnitude são classificadas de acordo com as classes ambilaterais; além disso, ele estabelece um determinado procedimento para atingir essa classificação.

Werner e Smart (1973) propõem uma classificação topológica das redes fluviais, conforme o número de trajetórias. Segundo eles, o comprimento da trajetória é a quantidade de ligamentos atravessados na conexão entre uma fonte ou junção e a desembocadura.

As trajetórias podem ser subdivididas em trajetórias interiores e exteriores, conforme apresentem uma junção ou uma nascente em seu final, a montante. Viu-se anteriormente que, usando-se esse critério para a classificação de redes de drenagem, uma rede qualquer seria topologicamente caracterizada por uma sequência numérica, onde cada número representa a frequência das trajetórias de determinado comprimento.

Segundo Werner e Smart (1973), embora a classificação topológica de redes hidrográficas, baseada na trajetória, seja mais vantajosa que a ambilateral, a sua aplicabilidade torna-se dificultada pelo grande número de classes a serem distinguidas e pela longa sequência numérica necessária para redes com elevada quantidade de nascentes. Uma solução para esse problema consiste em considerar o comprimento total das trajetórias, definido como a somatória dos valores das trajetórias multiplicadas pelas suas respectivas frequências.

Os dados calculados para essa variável encontram-se relacionados na Tabela 4.49. Observando-se essa tabela, nota-se à primeira vista que há diversidade muito grande entre os dados levantados nos diferentes documentos. Assim vê-se que, em algumas bacias, os valores levantados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 são superiores aos levantados nas cartas topográficas na escala de 1:50.000. Para exemplificar, cita-se a bacia do Ribeirão Sapê, com um valor de 8426 na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 contra 4959 nas cartas topográficas; Ribeirão Pimenta, com um valor de 15576 na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 contra um valor de 5261 nas cartas, etc.

TABELA 4.49

COMPRIMENTO DA TRAJETÓRIA (T) CALCULADO ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT  
(1:250.000) E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | COMPRIMENTO DA TRAJETÓRIA     |                                  |                                 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 8426                          | 87                               | 4959                            |
| 02     | 15576                         | 119                              | 5261                            |
| 03     | 11014                         | 149                              | 3117                            |
| 04     | 30223                         | 311                              | 18085                           |
| 05     | 5625                          | 101                              | 9775                            |
| 06     | 17254                         | 344                              | 30128                           |
| 07     | 35509                         | 857                              | 22107                           |
| 08     | 24766                         | 1360                             | 35782                           |
| 09     | 2051                          | 89                               | 1779                            |
| 10     | 24695                         | 561                              | 32991                           |

Por outro lado, algumas bacias levantadas nas cartas topográficas na escala de 1:50.000 apresentam valores superiores aos da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000. Como exemplo, pode-se citar as bacias do Córrego do Barreiro, Ribeirão da Lontra, Ribeirão Azul, e Ribeirão Água Parada, que apresentam, respectivamente, valores de 9975, 30128, 35782 e 32931 nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, contra valores de 5625, 17254, 24766 e 24695 na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

Já os dados levantados na documentação cartográfica na escala de 1:250.000 apresentam valores mais baixos em relação a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e às cartas topográficas na escala de 1:50.000.

Esse fato é devido à maior pobreza do traçado de rios e canais nessas cartas; na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e na documentação cartográfica na escala de 1:50.000, as bacias hidrográficas da área analisada apresentam número maior de segmentos, o que dá um número de comprimento de trajetória muito mais elevado.

#### 4.2.7 - DIÂMETRO TOPOLÓGICO (Dt)

Segundo Werner e Smart (1973), as redes hidrográficas podem ser topologicamente classificadas considerando-se seu diâmetro, que pode ser entendido como o maior comprimento da trajetória.

O diâmetro máximo possível ocorre nas bacias de segunda ordem, cuja sequência numérica das frequências do comprimento das trajetórias é 1, 2, 2, 2, ..., 2. O número de elemento é igual a  $n$ , a magnitude da rede de canais. O diâmetro mínimo possível ( $w$ ) corresponde à quantidade de elementos não-zeros existentes na sequência numérica, que ocorre quando a relação de bifurcação é igual a 2 entre as várias ordens (Christofletti, 1973).

Calcularam-se o diâmetro topológico das bacias hidrográficas estudadas, cujos dados obtidos estão relacionados na Tabela 4.50. Analisando-se esta tabelas, vê-se que há variação muito grande nos valores de diâmetro calculados. Mas, observando-se com maior atenção, nota-se que os valores de diâmetro topológico levantados a partir da imagem LANDSAT na escala de 1:250.00 e das cartas topográficas na escala de 1:50.000 apresentam valores muito próximos. Como exemplo, pode-se citar a bacia do Ribeirão Azul, que apresenta um valor de diâmetro igual a 26 na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000; contra 23 na carta topográfica na escala de 1:50.000. Vê-se também que na Bacia do Ribeirão Sapê há uma coincidência, pois ela apresenta valor de diâmetro topológico igual a 44 para ambos os documentos.

TABELA 4.50

DIÂMETRO TOPOLÓGICO (Dt) CALCULADO ATRAVÉS DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)  
E DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS (1:250.000 E 1:50.000)

| BACIAS | DIÂMETRO TOPOLÓGICO           |                                  |                                 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|        | IMAGEM LANDSAT<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000) | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01     | 44                            | 8                                | 44                              |
| 02     | 52                            | 9                                | 36                              |
| 03     | 49                            | 9                                | 36                              |
| 04     | 59                            | 12                               | 64                              |
| 05     | 45                            | 9                                | 57                              |
| 06     | 54                            | 15                               | 70                              |
| 07     | 67                            | 19                               | 73                              |
| 08     | 55                            | 18                               | 78                              |
| 09     | 26                            | 8                                | 23                              |
| 10     | 52                            | 18                               | 76                              |

As cartas topográficas na escala de 1:250.000 apresentam valores muito baixos em relação aos valores obtidos na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e na documentação cartográfica na escala de 1:50.000.

Esse fato pode ser explicado pelo maior número de ramificações (maior número de afluentes) encontrados tanto na imagem LANDSAT tanto na escala de 1:250.000 como nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, enquanto nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 essas ramificações são em menor escala, acusando falta de informação, ou melhor, ausência de detalhe das redes hidrográficas.

Fez-se o cálculo de diferença em porcentagem dessa variável, cujos dados levantados estão relacionados na Tabela 4.51. Analisando-se essa tabela, vê-se que as diferenças em porcentagem individuais são bastante altas, quando se comparam imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:250.000, essas diferenças variam de 188,9% (o menor valor) a 477,8% (o maior valor).

Na documentação cartográfica na escala de 1:50.000, a maior diferença encontrada está por volta de 44,4%, que é um valor bem superior à menor diferença entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e carta topográfica na escala de 1:250.000.

Comparando-se as diferenças médias em porcentagem, vê-se que a diferença entre imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:250.000 estão por volta de 329,6%, enquanto a diferença média em porcentagem entre imagem LANDSAT e carta topogrāfica na escala de 1:50.000 está por volta de -2,79%.

Vê-se que a diferença é maior nas cartas topográficas na escala de 1:250.000, e que as cartas topográfica na escala de 1:50.000 dão resultados mais próximos dos valores levantados através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000.

As Figuras 4.47 e 4.48 mostram a relação dessas variãveis quando calculadas nos diferentes documentos. No primeiro caso nota-se baixa correlação entre os valores, que apresentam coeficiente de correlação igual a 0,683. Na Figura 4.48 já se nota que os valores de diâmetro calculado nos documentos em questão apresentam maior relação linear, com coeficiente de correlação igual a 0,735.

TABELA 4.51

DIÂMETRO TOPOLÓGICO (Dt)

| BACIAS                      | DIFERENÇA EM PORCENTAGEM DO DIÂMETRO TOPOLOGICO<br>ENTRE IMAGEM LANDSAT (1:250.000)<br>E |                                 |
|-----------------------------|--|---------------------------------|
|                             | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:250.000)   | CARTA TOPOGRÁFICA<br>(1:50.000) |
| 01                          | 450,0  | 0,0                             |
| 02                          | 477,8  | 44,9                            |
| 03                          | 444,4  | 35,1                            |
| 04                          | 391,7  | - 7,8                           |
| 05                          | 400,0  | -21,0                           |
| 06                          | 260,0  | -22,8                           |
| 07                          | 252,6  | - 8,2                           |
| 08                          | 205,5  | -29,5                           |
| 09                          | 225,0  | 13,0                            |
| 10                          | 188,9  | -31,6                           |
| DIFERENÇA<br>MÉDIA<br>TOTAL | $\bar{D} = 329,6\%$  | $\bar{D} = -2,79\%$             |

Conclui-se que o diâmetro topológico de bacias hidrográficas, na área analisada, sempre apresenta valores maiores quando calculado através da imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 em virtude de que na imagem LANDSAT, a rede hidrográfica apresentar maior riqueza de detalhe (ramificações) e mostrar maior número de canais que refletem no valor elevado de diâmetro topológico encontrado nesse documento.



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

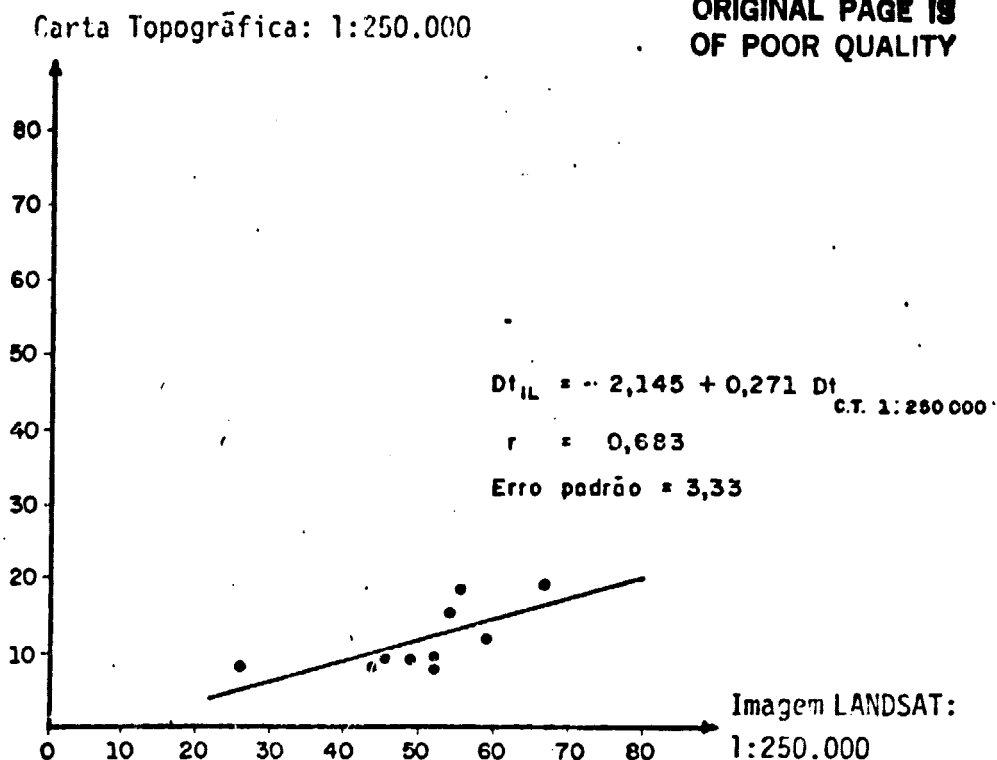


Fig. 4.47 - Relação entre o diâmetro topológico ( $Dt$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:250.000).

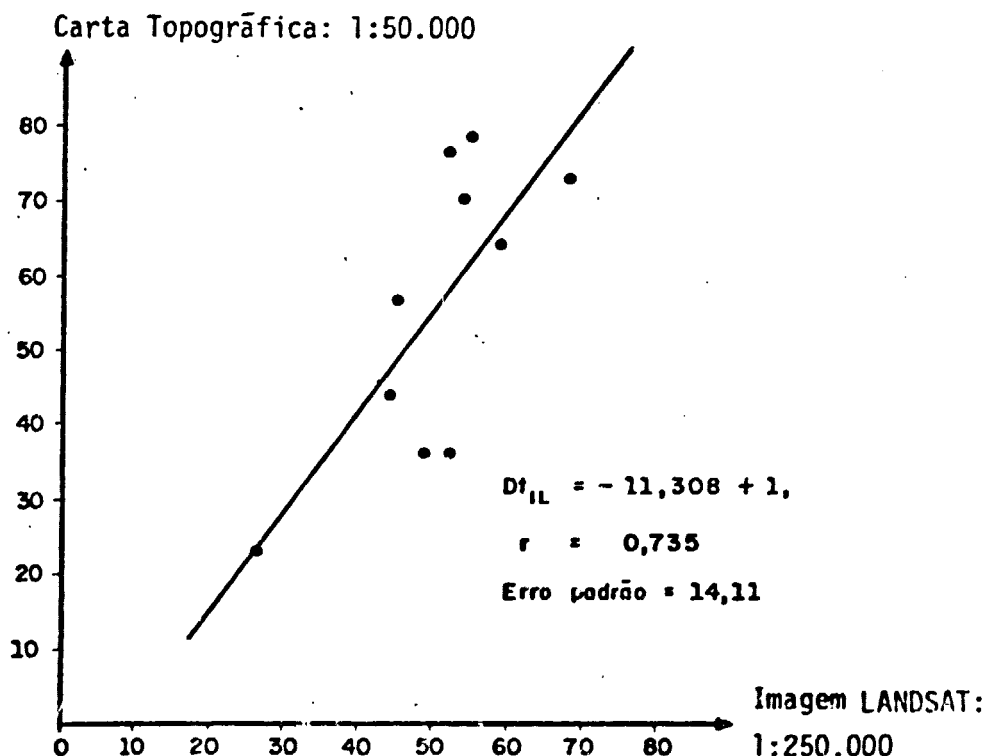


Fig. 4.48 - Relação entre o diâmetro topológico ( $Dt$ ) na imagem LANDSAT (1:250.000) e na carta topográfica (1:50.000).

As cartas topográficas na escala de 1:50.000 também mostram valores próximos dos calculados na imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 enquanto as cartas topográficas na escala de 1:250.000 dão pouca informação sobre essa variável, isto é, valores muito baixos para o diâmetro topológico que não representam a realidade, pois nessa área sabe-se que as redes hidrográficas são bastante ramificadas.

Assim vê-se que a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000, foi o documento que deu valores mais coerentes à variável diâmetro topológico, quando comparada com a documentação cartográfica nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

#### 4.3 - AGRUPAMENTO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E DAS VARIÁVEIS

Depois da análise isolada das variáveis nos diferentes documentos utilizados, é importante realizar um agrupamento desses elementos no sentido de investigar qual será o agrupamento das bacias hidrográficas e das variáveis para cada documento em questão. Com esse procedimento, é possível verificar como esses elementos se agrupariam em função das medidas obtidas em documentos diferentes, tais como a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 e as cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000.

O primeiro passo efetuado nesse sentido foi procurar padronizar os dados levantados nos diferentes documentos; essa padronização foi feita através do Programa "Numerical Taxonomy", através da fórmula comumente utilizada em estatística, denominada escore reduzido:

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{s} \quad (4.2)$$

onde: Z = Escore reduzido

$X_i$  = Valor das variáveis

$\bar{X}$  = Média

s = Desvio padrão.

Os dados já standardizados encontram-se relacionados nas Tabelas 4.52, 4.53 e 4.54.

TABELA 4.52

DADOS PADRONIZADOS DA IMAGEM LANDSAT (i:250.000)

| VARIÁVEIS            |  | Ic     | Dr     | Dd     | Tc     | ICO    | A      | P      | L      | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | M      | Rpb    | Seg.   | Lig.   | T      | Dt     |
|----------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BACIAS               |  |        |        |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |        |        |        |        |
| RIBEIRÃO SAPE        |  | -1.123 | -0.014 | 0.016  | -0.003 | 1.680  | -0.710 | -0.532 | -0.594 | -0.351         | 0.167          | -0.911 | -1.637 | -0.859 | -0.911 | -0.822 | -0.581 |
| RIBEIRÃO PIMENTA     |  | 1.469  | 0.612  | 0.553  | 0.555  | -0.711 | -0.415 | -0.532 | -0.785 | -0.510         | -0.724         | -0.041 | 0.525  | -0.083 | -0.041 | -0.175 | 0.156  |
| RIBEIRÃO DO BALSAMO  |  | 0.316  | 0.526  | 0.386  | 0.381  | 0.354  | -0.709 | -0.751 | -0.594 | -0.617         | 0.060          | -0.697 | 1.844  | -0.737 | -0.697 | -0.588 | -0.120 |
| RIBEIRÃO JANGADA     |  | 0.028  | 1.380  | 1.124  | 1.132  | -0.532 | -0.100 | -0.006 | 0.172  | -1.202         | -1.402         | 1.197  | -0.064 | 1.172  | 1.197  | 1.150  | 0.803  |
| CORREGO DO BARREIRO  |  | -0.835 | 0.811  | 1.124  | 1.132  | -0.950 | -0.946 | -0.983 | -0.977 | -0.404         | -0.546         | -1.095 | 0.328  | -1.054 | -1.095 | -1.076 | -0.489 |
| RIBEIRÃO DA LONTRA   |  | 1.181  | 0.782  | 0.621  | 0.625  | -0.352 | -0.366 | -0.457 | -0.402 | -0.883         | -0.795         | 0.175  | 1.142  | 0.150  | 0.165  | -0.023 | 0.341  |
| RIBEIRÃO BAGUAÇO     |  | -1.555 | -0.668 | -0.553 | -0.562 | 1.620  | 0.985  | 1.422  | 1.397  | 0.659          | -0.331         | 1.027  | -0.626 | 1.049  | 1.027  | 1.628  | 1.541  |
| RIBEIRÃO AZUL        |  | -0.403 | -1.522 | -1.728 | -1.716 | -1.249 | 2.202  | 1.873  | 1.322  | 1.670          | 1.845          | 0.813  | -0.317 | 0.532  | 0.813  | 0.655  | 0.433  |
| CORREGO DO ARACANGUA |  | 0.893  | -1.494 | -1.527 | -1.524 | 0.185  | -0.661 | -0.772 | -0.785 | 1.617          | 1.381          | -1.493 | -0.682 | -1.485 | -1.493 | -1.399 | -2.243 |
| RIBEIRÃO ÁGUA PARADA |  | 0.028  | -0.412 | -0.016 | -0.020 | -0.053 | 0.723  | 0.745  | 0.747  | 0.021          | 0.346          | 1.035  | -0.513 | 1.055  | 1.035  | 0.649  | 0.156  |

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

TABELA 4.53

DADOS PADRONIZADOS DA CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000)

| VARIÁVEIS            | IC     | DT     | Dd     | Tc     | ICo    | A      | F.     | L      | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | M      | Rpb    | Seg.   | Lig.   | T      | Dt     |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BACIAS               |        |        |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |        |        |        |        |
| RIBEIRÃO SAPE        | -1.138 | -0.711 | -0.819 | -0.836 | 1.319  | -0.671 | -0.462 | -0.507 | 0.286          | -0.229         | -0.793 | -0.461 | -0.772 | -0.787 | -0.738 | -0.813 |
| RIBEIRÃO PIMENTA     | 1.621  | -1.304 | -1.406 | -1.470 | -0.725 | -0.445 | -0.615 | -0.689 | 1.389          | -0.042         | -0.671 | -1.009 | -0.634 | -0.665 | -0.662 | -0.581 |
| RIBEIRÃO DO BALSAMO  | 0.241  | 1.067  | 0.258  | 0.304  | 0.296  | -0.714 | -0.769 | -0.870 | -1.183         | 2.416          | -0.549 | 2.364  | -0.589 | -0.543 | -0.591 | -0.581 |
| RIBEIRÃO JANGADA     | 0.471  | -0.118 | 0.689  | 0.684  | -0.481 | -0.101 | -0.078 | -0.036 | 0.626          | -0.823         | -0.661 | 0.013  | -0.086 | -0.085 | -0.206 | -0.116 |
| CORREGO DO BARREIRO  | -0.908 | 1.660  | 1.121  | 1.064  | -1.260 | -0.918 | -0.922 | -0.870 | -1.140         | -1.237         | -0.732 | 0.524  | -0.726 | -0.726 | -0.705 | -0.581 |
| RIBEIRÃO DA LOITRA   | 0.241  | 1.067  | 0.905  | 0.937  | -0.304 | -0.351 | -0.308 | -0.507 | -0.716         | -0.801         | -0.061 | 0.013  | -0.086 | -0.085 | -0.127 | 0.813  |
| RIBEIRÃO JACUAÇO     | -1.598 | -0.118 | 0.474  | 0.430  | 1.757  | 0.926  | 1.456  | 1.849  | -0.094         | 0.237          | 0.854  | -1.009 | 0.963  | 0.860  | 1.001  | 1.743  |
| RIBEIRÃO AZUL        | -0.448 | -0.118 | 0.905  | 0.937  | -1.114 | 2.208  | 1.917  | 1.305  | -0.038         | -0.351         | 2.381  | -0.412 | 2.379  | 2.386  | 2.286  | 1.511  |
| CORREGO DO ARACAÇUÁ  | 0.816  | -0.118 | -1.466 | -1.470 | 0.588  | -0.713 | -0.830 | -0.689 | -0.787         | 0.272          | -0.732 | -0.607 | -0.680 | -0.726 | -0.733 | -0.813 |
| RIBEIRÃO ÁGUA PARADA | 0.701  | -1.304 | -0.603 | -0.582 | 0.004  | 0.783  | 0.612  | 0.943  | 1.658          | 0.318          | 0.366  | 0.585  | 0.232  | 0.372  | 0.387  | -0.813 |

TABELA 4.54

## DADOS PADRONIZADOS DA CARTA TOPOGRÁFICA (1:50.000)

| VARIÁVEIS<br>BACIAS  | Ic     | Dr     | Dd     | Tc     | ICo    | A      | P      | L      | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | M      | Rpb    | Seg.   | Lig.   | T      | Dc     |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| RIBEIRÃO SAPE        | -1,293 | -0,370 | 0,042  | 0,032  | 1,176  | -0,701 | -0,493 | -0,439 | 0,816          | 1,148          | -0,891 | 0,712  | -0,907 | -0,891 | -0,887 | -0,596 |
| RIBEIRÃO PIMENTA     | 1,422  | -0,486 | -0,520 | -0,525 | -0,841 | -0,433 | -0,552 | -0,564 | 0,241          | -0,750         | -0,712 | -0,787 | -0,699 | -0,712 | -0,865 | -1,003 |
| RIBEIRÃO DO BALSAMO  | 0,258  | -0,648 | -0,492 | -0,496 | 0,274  | -0,719 | -0,761 | -0,679 | 1,353          | -0,521         | -1,050 | 0,539  | -1,058 | -1,050 | -1,018 | -1,003 |
| RIBEIRÃO JUNDIA      | 1,164  | 0,138  | 0,239  | 0,223  | -0,627 | -0,105 | -0,196 | 0,088  | -0,753         | -0,521         | 0,258  | -0,903 | 0,237  | 0,258  | 0,048  | 0,422  |
| COBREDO DO BAREIRO   | -0,388 | 1,342  | 1,168  | 1,163  | 1,435  | -0,910 | -0,959 | -0,987 | -1,369         | -1,043         | -0,525 | 0,308  | -0,531 | -0,525 | -0,543 | 0,066  |
| RIBEIRÃO DA LONTRA   | 0,517  | 2,152  | 2,008  | 2,088  | -0,798 | -0,375 | -0,374 | -0,411 | -1,445         | -0,974         | 1,301  | 0,510  | 1,318  | 1,301  | 0,908  | 0,728  |
| RIBEIRÃO BAQUAÇO     | -1,681 | -0,717 | -0,914 | -0,907 | 1,219  | 0,974  | 1,438  | 1,932  | -0,026         | 1,356          | 0,194  | -1,249 | 0,260  | 0,194  | 1,049  | 0,821  |
| RIBEIRÃO AZUL        | -0,388 | -0,694 | -0,886 | -0,878 | -1,443 | 2,203  | 1,854  | 1,164  | 0,586          | 0,904          | 1,172  | 1,462  | 1,333  | 1,172  | 1,311  | 1,135  |
| COBREDO DO APACANGA  | 0,646  | -0,855 | -1,027 | -1,010 | 0,017  | -0,677 | -0,261 | -0,087 | 1,123          | -0,765         | -1,121 | -1,422 | -1,121 | -1,121 | -1,114 | -1,666 |
| RIBEIRÃO ÁGUA PARADA | -0,258 | 0,138  | 0,323  | 0,311  | -0,412 | 0,745  | 0,314  | 0,895  | -0,487         | 1,148          | 1,373  | 0,828  | 2,370  | 1,373  | 1,112  | 1,034  |

A partir dos dados padronizados foram calculadas através do programa "Numerical Taxnomy", as matrizes dos coeficientes de correlação, utilizando-se o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson. As Tabelas 4.55, 4.56 e 4.57 mostram as matrizes dos coeficientes de correlação entre as bacias hidrográficas dos três documentos em questão e as Tabelas 4.58, 4.59 e 4.60 mostram as matrizes de correlação das variáveis morfométricas.

Com base nos coeficientes de correlação, o programa "Numerical Taxonomy" efetuou o agrupamento das bacias hidrográficas e das variáveis utilizando o método "Weighted Pair-Group Method" (Sokal and Sneath, 1963). As Figuras 4.49, 4.50 e 4.51 ilustram os agrupamentos obtidos para as bacias hidrográficas, nos três documentos utilizados<sup>(3)</sup>.

Comparando-se o agrupamento das bacias hidrográficas nos três documentos observa-se que, na formação de duplas de bacias, indicando quais são as mais semelhantes entre si, definiu-se o seguinte: quatro duplas para a imagem LANDSAT (5-3, 6-2, 10-8, 9-1); quatro duplas para a carta topográfica na escala de 1:250.000 (8-7, 6-5, 10-2, 9-1); e três duplas para a carta topográfica na escala de 1:50.000 (10-8, 6-5, 9-2). Entretanto observa-se que não ocorreu a formação das mesmas duplas nos três documentos, pois houve coincidência apenas com as duplas 9-1 (na imagem LANDSAT e na carta topográfica na escala de 1:250.000) e 6-5 (nas cartas topográficas na escala de 1:250.000 e 1:50.000).

---

(3) *Correlação cogenética é uma espécie de correlação dada pelo programa, que exprime a confiabilidade entre os valores taxionômicos agrupados e o dendrograma obtido. Valores de correlação cogenética acima de 0,700 mostram que os dendrogramas obtidos são representativos.*

TABELA 4.55

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)

| BACIAS               | RIBEIRÃO SAPÊ | RIBEIRÃO PIMENTA | RIBEIRÃO DO BALSAMO | RIBEIRÃO JANGADA | CORREGO DO BARREIRO | RIBEIRÃO DA LONTRA | RIBEIRÃO BAGUAÇU | RIBEIRÃO AZUL | CORREGO DO ARACANGUA | RIBEIRÃO ÁGUA PARADA |
|----------------------|---------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| RIBEIRÃO SAPÊ        | 1,000         |                  |                     |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO PIMENTA     | -0,230        | 1,000            |                     |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO DO BALSAMO  | 0,645         | 0,297            | 1,000               |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO JANGADA     | 0,620         | -0,260           | 0,503               | 1,000            |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| CORREGO DO BARREIRO  | -0,445        | -0,416           | -0,699              | -0,629           | 1,000               |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO DA LONTRA   | -0,728        | -0,188           | -0,713              | -0,654           | 0,501               | 1,000              |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO BAGUAÇU     | 0,214         | -0,896           | -0,440              | 0,028            | 0,568               | 0,223              | 1,00             |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO AZUL        | -0,857        | 0,068            | -0,663              | -0,661           | 0,642               | 0,658              | -0,079           | 1,000         |                      |                      |
| CORREGO DO ARACANGUA | -0,459        | -0,211           | -0,634              | -0,763           | 0,928               | 0,507              | 0,452            | 0,527         | 1,000                |                      |
| RIBEIRÃO ÁGUA PARADA | -0,264        | 0,214            | -0,352              | 0,122            | -0,371              | 0,171              | -0,255           | 0,056         | -0,356               | 1,000                |

TABELA 4.56

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
DA CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000)

| BACIAS               | RIBEIRÃO SAPE | RIBEIRÃO PIMENTA | RIBEIRÃO DO BALSAMO | RIBEIRÃO JANGADA | CÓRREGO DO BARREIRO | RIBEIRÃO DA LONTRA | RIBEIRÃO BAGUAÇU | RIBEIRÃO AZUL | CÓRREGO DO ARACANGUA | RIBEIRÃO ÁGUA PARADA |
|----------------------|---------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| RIBEIRÃO SAPE        | 1,000         |                  |                     |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO PIMENTA     | 0,120         | 1,000            |                     |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO DO BALSAMO  | 0,055         | -0,609           | 1,000               |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO JANGADA     | -0,110        | -0,298           | 0,497               | 1,000            |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| CÓRREGO DO BARREIRO  | -0,843        | -0,304           | 0,037               | -0,169           | 1,000               |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO DA LONTRA   | -0,698        | -0,394           | -0,116              | -0,318           | 0,829               | 1,000              |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO BAGUAÇU     | 0,012         | -0,402           | -0,138              | -0,453           | 0,370               | 0,362              | 1,000            |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO AZUL        | -0,300        | 0,348            | -0,673              | 0,526            | 0,122               | -0,376             | -0,053           | 1,000         |                      |                      |
| CÓRREGO DO ARACANGUA | 0,552         | 0,509            | -0,280              | -0,423           | -0,472              | -0,606             | 0,244            | -0,189        | 1,000                |                      |
| RIBEIRÃO ÁGUA PARADA | 0,221         | 0,364            | -0,524              | 0,270            | -0,491              | -0,362             | -0,336           | 0,073         | 0,108                | 1,000                |



TABELA 5.57

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
DA CARTA TOPOGRÁFICA (1:50.000)

| BACIAS               | RIBEIRÃO SAPE | RIBEIRÃO PIMENTA | RIBEIRÃO DO BALSAMO | RIBEIRÃO JANGADA | CÓRREGO DO BARREIRO | RIBEIRÃO DA LONTRA | RIBEIRÃO BAGUAÇO | RIBEIRÃO AZUL | CÓRREGO DO ARACANGUA | RIBEIRÃO ÁGUA PARADA |
|----------------------|---------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| RIBEIRÃO SAPE        | 1,000         |                  |                     |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO PIMENTA     | -0,785        | 1,000            |                     |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO DO BALSAMO  | 0,694         | -0,331           | 1,000               |                  |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO JANGADA     | 0,369         | -0,162           | 0,452               | 1,000            |                     |                    |                  |               |                      |                      |
| CÓRREGO DO BARREIRO  | 0,231         | -0,530           | -0,307              | -0,559           | 1,000               |                    |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO DA LONTRA   | -0,380        | -0,196           | -0,783              | -0,451           | 0,575               | 1,000              |                  |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO BAGUAÇO     | 0,117         | -0,101           | -0,157              | -0,286           | 0,560               | 0,071              | 1,000            |               |                      |                      |
| RIBEIRÃO AZUL        | -0,772        | 0,747            | -0,317              | -0,365           | -0,491              | 0,033              | -0,484           | 1,000         |                      |                      |
| CÓRREGO DO ARACANGUA | -0,524        | 0,762            | -0,246              | -0,504           | -0,141              | -0,190             | 0,410            | 0,507         | 1,000                |                      |
| RIBEIRÃO ÁGUA PARADA | -0,399        | 0,242            | -0,321              | 0,081            | -0,470              | 0,232              | -0,817           | 0,610         | -0,220               | 1,000                |

TABELA 4.58

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS  
DA IMAGEM LANDSAT (1:250.000)

| VAR.           | Ic     | Dr     | Dd     | Tt     | Ico    | A      | P      | L      | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | M      | Rpb    | Seg.  | Lig.  | T     | Dt    |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Ic             | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Dr             | 0,889  | 1,000  |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Dd             | 0,846  | 0,966  | 1,000  |        |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Tt             | 0,842  | 0,967  | 0,999  | 1,000  |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Ico            | 0,149  | -0,099 | -0,053 | -0,079 | 1,000  |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| A              | 0,846  | 0,996  | 1,000  | 0,999  | -0,053 | 1,000  |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| P              | -0,456 | -0,232 | -0,213 | -0,149 | -0,338 | -0,213 | 1,000  |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| L              | -0,306 | -0,029 | -0,081 | -0,066 | -0,439 | -0,081 | 0,838  | 1,000  |                |                |        |        |       |       |       |       |
| L <sub>1</sub> | 0,684  | 0,865  | 0,797  | 0,808  | -0,309 | 0,797  | 0,226  | 0,414  | 1,000          |                |        |        |       |       |       |       |
| L <sub>2</sub> | 0,610  | 0,794  | 0,771  | 0,783  | -0,332 | 0,771  | 0,370  | 0,508  | 0,963          | 1,000          |        |        |       |       |       |       |
| M              | 0,529  | 0,715  | 0,728  | 0,738  | -0,258 | 0,728  | 0,462  | 0,556  | 0,897          | 0,979          | 1,000  |        |       |       |       |       |
| Rpb            | 0,035  | 0,052  | -0,121 | -0,107 | -0,428 | -0,121 | -0,027 | 0,018  | 0,173          | 0,009          | -0,154 | 1,000  |       |       |       |       |
| Seg.           | 0,268  | -0,019 | 0,024  | 0,009  | 0,440  | 0,024  | -0,909 | -0,955 | -0,442         | -0,538         | -0,594 | -0,134 | 1,000 |       |       |       |
| Lig.           | 0,268  | -0,020 | 0,022  | 0,007  | 0,436  | 0,022  | -0,909 | -0,056 | -0,442         | -0,539         | -0,586 | -0,125 | 1,000 | 1,000 |       |       |
| T              | 0,291  | 0,003  | 0,043  | 0,026  | 0,502  | 0,043  | 0,912  | -0,969 | -0,452         | -0,537         | -0,570 | -0,165 | 0,977 | 0,976 | 1,000 |       |
| Dt             | -0,321 | -0,294 | -0,149 | -0,170 | 0,527  | -0,149 | -0,032 | -0,172 | -0,499         | -0,420         | -0,297 | -0,479 | 0,108 | 0,104 | 0,186 | 1,000 |

TABELA 4.59

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS  
DA CARTA TOPOGRÁFICA (1:250.000)

| VAR.           | Ic     | Dr     | Dd     | Tt     | ICo    | A      | P      | L      | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | M      | Rpb    | Seg.   | Lim.   | T      | Dt    |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Ic             | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |        |        |        |       |
| Dr             | 0,806  | 1,000  |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |        |        |        |       |
| Dd             | 9,737  | 0,995  | 1,000  |        |        |        |        |        |                |                |        |        |        |        |        |       |
| Tt             | 0,814  | 0,996  | 0,998  | 1,000  |        |        |        |        |                |                |        |        |        |        |        |       |
| ICo            | -0,341 | -0,237 | -0,203 | -0,242 | 1,000  |        |        |        |                |                |        |        |        |        |        |       |
| A              | 0,790  | 0,995  | 0,999  | 0,993  | -0,203 | 1,000  |        |        |                |                |        |        |        |        |        |       |
| P              | -0,270 | -0,219 | -0,222 | -0,235 | 0,597  | -0,225 | 1,000  |        |                |                |        |        |        |        |        |       |
| L              | -0,126 | 0,152  | 0,149  | 0,130  | -0,374 | 0,143  | -0,071 | 1,000  |                |                |        |        |        |        |        |       |
| L <sub>1</sub> | 0,712  | 0,877  | 0,840  | 0,844  | -0,336 | 0,839  | -0,110 | 0,354  | 1,000          |                |        |        |        |        |        |       |
| L <sub>2</sub> | 0,786  | 0,970  | 0,950  | 0,953  | -0,319 | 0,950  | -0,178 | 0,285  | 0,959          | 1,000          |        |        |        |        |        |       |
| M              | 0,706  | 0,980  | 0,978  | 0,972  | -0,264 | 0,976  | -0,188 | 0,329  | 0,897          | 0,973          | 1,000  |        |        |        |        |       |
| Rpb            | 0,048  | -0,077 | -0,144 | -0,122 | -0,168 | -0,147 | 0,424  | -0,016 | 0,249          | 0,096          | -0,076 | 1,000  |        |        |        |       |
| Seg.           | 0,602  | 0,430  | 0,446  | 0,444  | 0,322  | 0,452  | -0,254 | -0,442 | 0,253          | 0,336          | 0,298  | -0,348 | 1,000  |        |        |       |
| Lig.           | 0,601  | 0,423  | 0,438  | 0,436  | 0,307  | 0,443  | -0,269 | -0,444 | 0,255          | 0,332          | 0,290  | -0,342 | 0,999  | 1,000  |        |       |
| T              | 0,153  | -0,149 | -0,136 | -0,129 | 0,503  | -0,133 | -0,053 | -0,896 | -0,354         | -0,293         | -0,322 | -0,253 | 0,699  | 0,702  | 1,000  |       |
| Dt             | -0,453 | -0,329 | -0,277 | -0,299 | 0,078  | -0,274 | 0,233  | 0,387  | -0,390         | -0,374         | -0,215 | -0,400 | -0,499 | -0,515 | -0,347 | 1,000 |

TABELA 5.60

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS  
DA CARTA TOPOGRÁFICA (1:50.000)

| VAR.           | Ic     | Dr     | Dd     | Tt     | Ico    | A      | P      | L      | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | M      | Rpb    | Seg.  | Lig.  | T     | Dt    |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Ic             | 1,000  |        |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Dr             | 0,943  | 1,000  |        |        |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Dd             | 0,902  | 0,942  | 1,000  |        |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Tt             | 0,904  | 0,947  | 0,999  | 1,000  |        |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| Ico            | 0,402  | 0,318  | 0,426  | 0,410  | 1,000  |        |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| A              | 0,502  | 0,942  | 1,000  | 0,999  | 0,426  | 1,000  |        |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| P              | 0,473  | 0,505  | 0,328  | 0,331  | 0,270  | 0,328  | 1,000  |        |                |                |        |        |       |       |       |       |
| L              | -0,589 | -0,441 | -0,549 | -0,553 | -0,048 | -0,549 | 0,265  | 1,000  |                |                |        |        |       |       |       |       |
| L <sub>1</sub> | 0,754  | 0,922  | 0,522  | 0,631  | 0,066  | 0,622  | 0,788  | -0,051 | 1,000          |                |        |        |       |       |       |       |
| L <sub>2</sub> | 0,742  | 0,841  | 0,670  | 0,674  | 0,226  | 0,670  | 0,762  | 0,028  | 0,916          | 1,000          |        |        |       |       |       |       |
| M              | 0,718  | 0,820  | 0,670  | 0,689  | 0,236  | 0,690  | 0,661  | 0,040  | 0,875          | 0,977          | 1,000  |        |       |       |       |       |
| Rpb            | -0,211 | -0,358 | -0,526 | -0,515 | -0,194 | -0,526 | 0,144  | 0,018  | -0,121         | -0,285         | -0,434 | 1,000  |       |       |       |       |
| Seg.           | 0,323  | 0,175  | 0,376  | 0,375  | 0,325  | -0,376 | -0,398 | -0,815 | -0,318         | -0,357         | -0,356 | 0,024  | 1,000 |       |       |       |
| Lig.           | 0,323  | 0,172  | 0,375  | 0,374  | 0,328  | 0,375  | -0,395 | -0,816 | -0,319         | -0,358         | -0,358 | 0,026  | 0,999 | 1,000 |       |       |
| T              | 0,358  | 0,232  | 0,410  | 0,411  | 0,263  | 0,410  | -0,454 | -0,864 | -0,282         | -0,305         | -0,295 | 0,003  | 0,980 | 0,979 | 1,000 |       |
| Dt             | -0,371 | -0,321 | -0,090 | -0,093 | -0,268 | -0,090 | -0,754 | -0,092 | -0,522         | -0,470         | -0,331 | -0,636 | 0,123 | 0,123 | 0,140 | 1,000 |

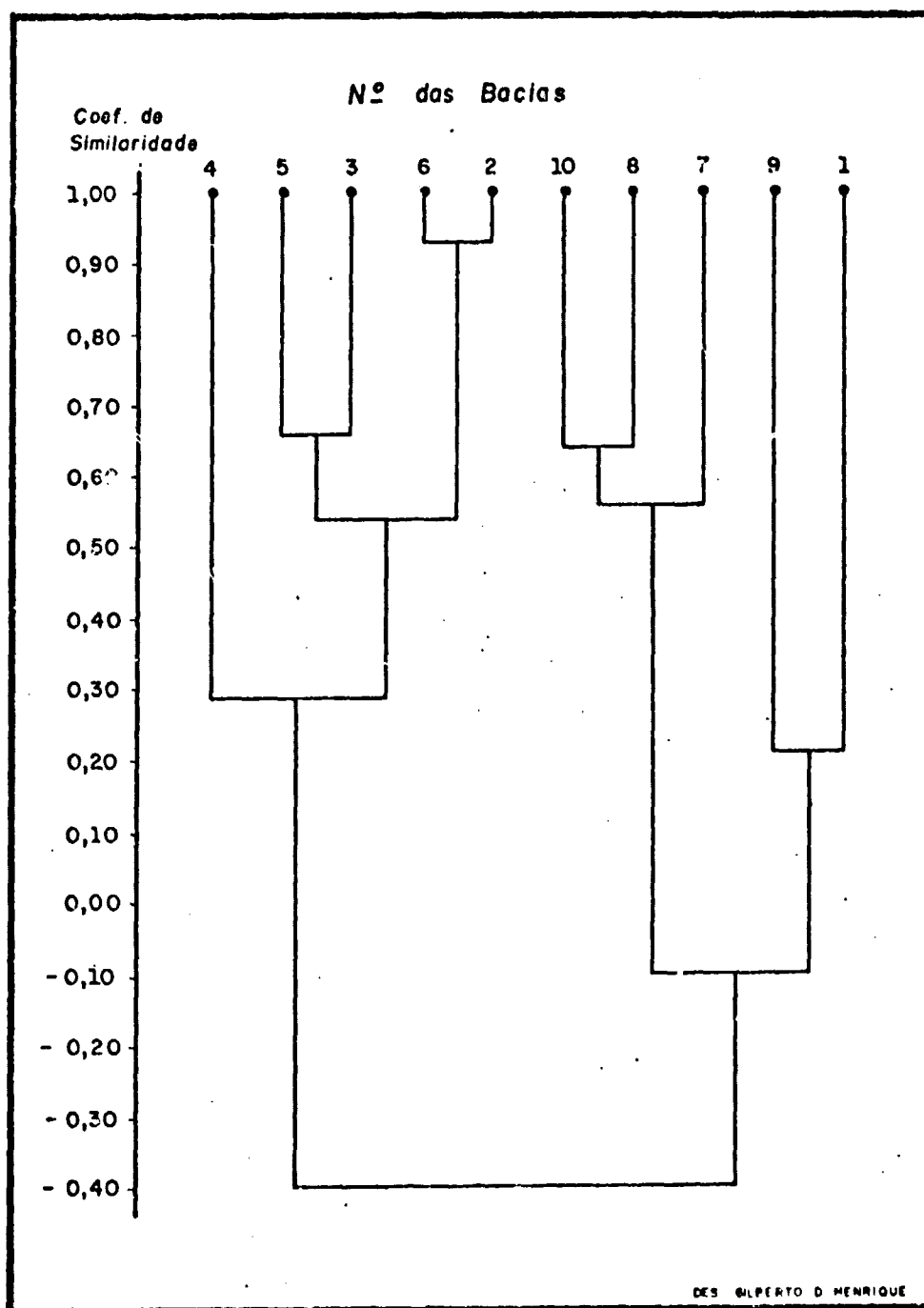


Fig. 4.49 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as bacias hidrográficas na imagem LANDSAT (1:250.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M.).

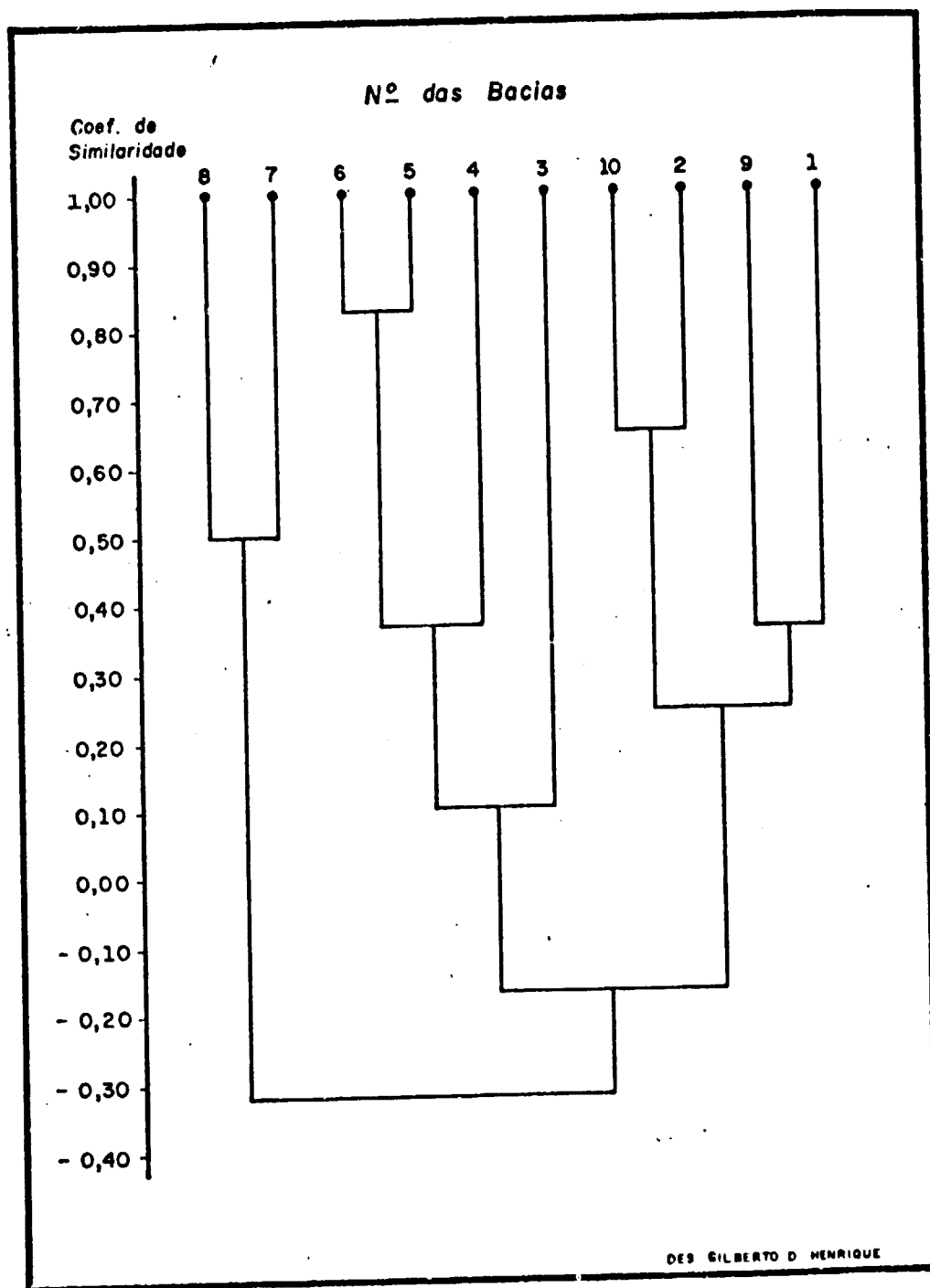


Fig. 4.50 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as bacias hidrográficas na carta topográfica 1:250.000 obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M.).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

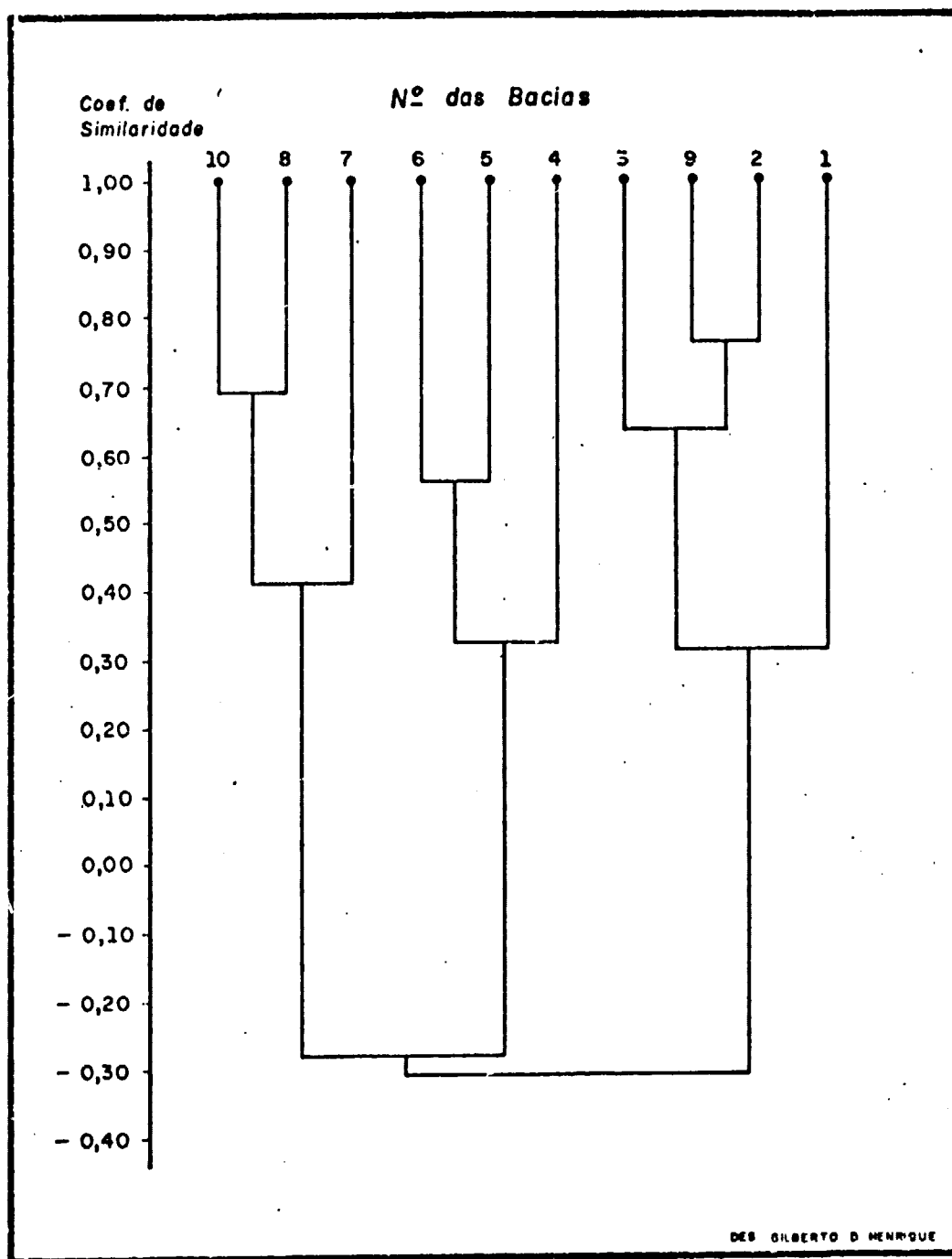


Fig. 4.51 - Dendrograma ilustrativo das inter-relações entre as bacias hidrográficas na carta topográfica (1:50.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M).

De todas as duplas formadas, a dupla 6-2 na imagem LANDSAT é a que apresentou o valor mais próximo da unidade (nível de similaridade igual a 0,93), mostrando que são bastante parecidas nesse documento. A dupla que apresentou valor de semelhança mais distante da unidade foi a dupla 9-1, apresentando valores de coeficientes de similaridade iguais a 0,21 na imagem LANDSAT e 0,36 na carta topográfica na escala de 1:250.000.

Dos três documentos utilizados, a carta topográfica na escala de 1:250.000 foi o que apresentou concordância de duplas com os outros dois documentos: a imagem LANDSAT não apresentou nenhuma dupla semelhante às da carta topográfica na escala de 1:50.000.

Continuando o agrupamento observa-se a formação de dois grupos na imagem LANDSAT, que envolvem sete bacias; ambos os agrupamentos se unem num coeficiente de similaridade bem próximo, isto é, 0,56 e 0,54.

Na documentação cartográfica na escala de 1:250.000, houve também a formação de dois grupos que envolvem sete bacias, mas apresentam coeficiente de similaridade diferentes e bem distantes da unidade; estes grupos apresentam valores iguais a 0,37 e 0,24, respectivamente. Verifica-se também que a dupla de bacias 8-7 permanece isolada nesse documento.

Na documentação cartográfica na escala de 1:50.000, definiram-se três grupos que envolvem nove bacias hidrográficas com coeficientes de similaridade bem próximos (0,41, 0,33 e 0,31).

Num outro nível de agrupamento, os dois grupos anteriormente formados na imagem LANDSAT permanecem incluindo dez bacias; para um grupo o coeficiente de similaridade é igual a 0,28 e para o outro é igual a -0,10. Cada grupo contém cinco bacias, mas o agrupamento 4-5-8-6-2 contém as bacias mais semelhantes entre si.



Na documentação cartográfica na escala de 1:250.000, observava-se que a dupla de bacias 8-7 continua isolada; cada uma dos dois grupos permanece com quatro bacias, sendo que um grupo apresenta um coeficiente de similaridade igual a 0,10 e o outro igual a 0,25.

Na carta topográfica na escala de 1:50.000, o agrupamento 3-9-2-1 une-se ao nível de 0,31 e os outros dois grupos permanecem com três bacias cada um, com coeficientes de similaridade iguais a 0,41 e 0,33.

Num outro nível de agrupamento, a imagem LANDSAT destaca-se por unir os dois grupos a um nível de similaridade igual a 0,40, encerrando o agrupamento das dez bacias hidrográficas. Entretanto verifica-se que, na carta topográfica na escala de 1:250.000, há a formação de um grupo com oito bacias a um nível de similaridade igual a -0,18, permanecendo isolada a dupla de bacias 8-7, o que indica que essas bacias não se assemelham a nenhuma das outras, agrupando-se com as outras, somente ao nível de -0,33, quando se unem as dez bacias analisadas.

Finalmente, na carta topográfica na escala de 1:50.000 forma-se um grupo de seis bacias com coeficiente de similaridade igual a -0,28 para, em seguida, unir-se ao grupo 3-9-2-1 e ao nível de 0,30, quando se encerra o agrupamento das dez bacias nessa documentação.

Após essas observações, podem-se destacar alguns pontos interessantes no agrupamento das bacias hidrográficas, levando-se em consideração a diferente documentação utilizada:

- a) Inicialmente, o que chama a atenção é a formação de duplas onde se destacou a documentação cartográfica na escala de 1:250.000, que foi a única que apresentou duplas que coincideram com outras formadas nos outros documentos. Na imagem LANDSAT e na documentação cartográfica na escala de 1:50.000, não houve coincidência de nenhuma dupla.

- b) Quando à formação de grupos, observa-se que na imagem LANDSAT e na carta topográfica na escala de 1:250.000 houve a formação de dois grupos distintos, mas na documentação cartográfica na escala de 1:50.000 definiram-se apenas três grupos. Observa-se então que as mesmas bacias formaram grupos diferentes, conforme a documentação utilizada. O que se destaca é a formação da dupla de bacias 8-7, que permaneceu isolada na carta topográfica na escala de 1:250.000, agrupando-se só no último nível de similaridade, que foi igual a -0,33; contudo observa-se que essa mesma dupla, nos outros documentos analisados, se agrupou a partir de níveis de similaridade mais altos, isto é, 0,56 para a imagem LANDSAT e 0,41 para a carta topográfica na escala de 1:50.000.
- c) Nos três documentos observa-se que os agrupamentos se encerraram sempre em níveis de similaridade mais ou menos iguais, apresentando os seguintes coeficientes de similaridade: -0,40, -0,33 e -0,30 na imagem LANDSAT e nas cartas topográficas nas escalas de 1:250.000 e 1:50.000, respectivamente.
- d) Ainda com respeito ao agrupamento das bacias hidrográficas, um último ponto que chama a atenção é que, na carta topográfica na escala de 1:50.000, as bacias se agruparam num coeficiente de similaridade mais elevado, indicando que nesse documento houve maior semelhança entre as bacias; inclusive nota-se que, ao nível de similaridade de 0,30, já se definiram os três grupos de bacias, o que não aconteceu na imagem LANDSAT e na carta topográfica na escala de 1:250.000.

Passa-se agora a analisar os dendrogramas ilustrativos da inter-relação das variáveis dos três documentos em questão (Figuras 4.52, 4.53 e 4.54).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

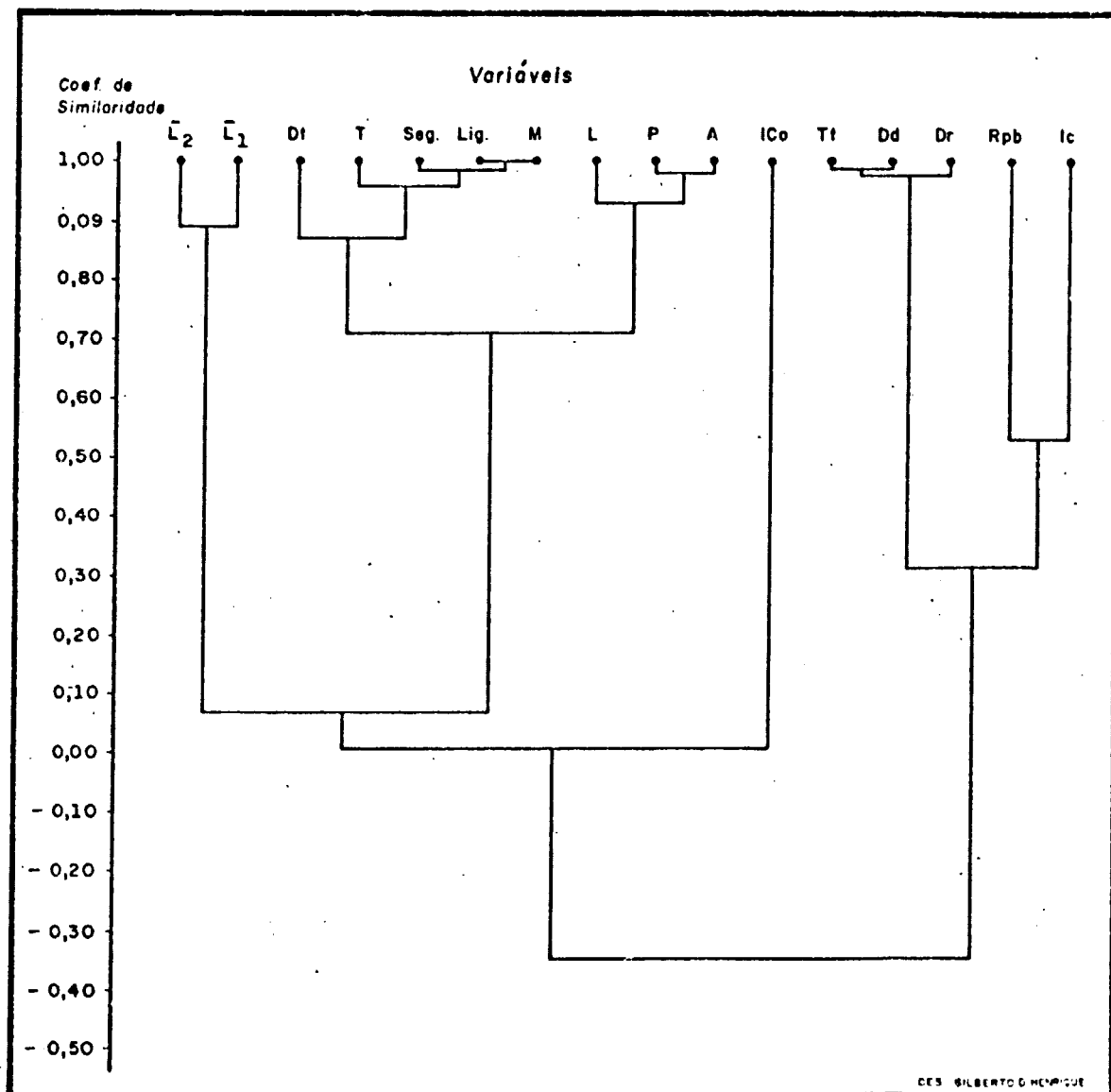


Fig. 4.52 - Dendrograma ilustrativo da inter-relação entre as variáveis levantadas a partir da imagem LANDSAT (1:250.000) obtido por Weighted pairgrouped method (W.P.G.M).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

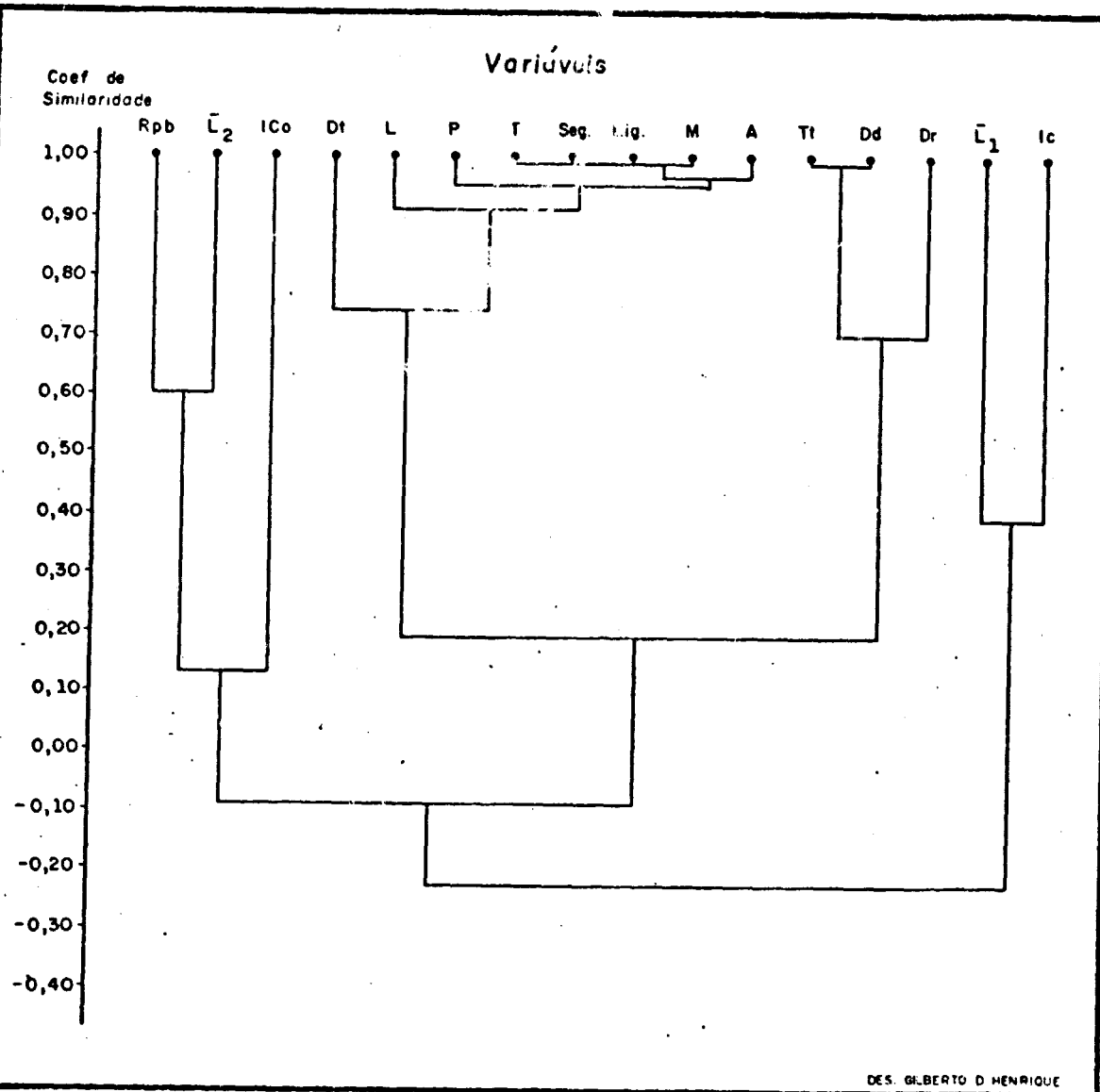


Fig. 4.53 - Dendrograma ilustrativo da inter-relação entre as variáveis levantadas a partir da carta topográfica (1:250.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

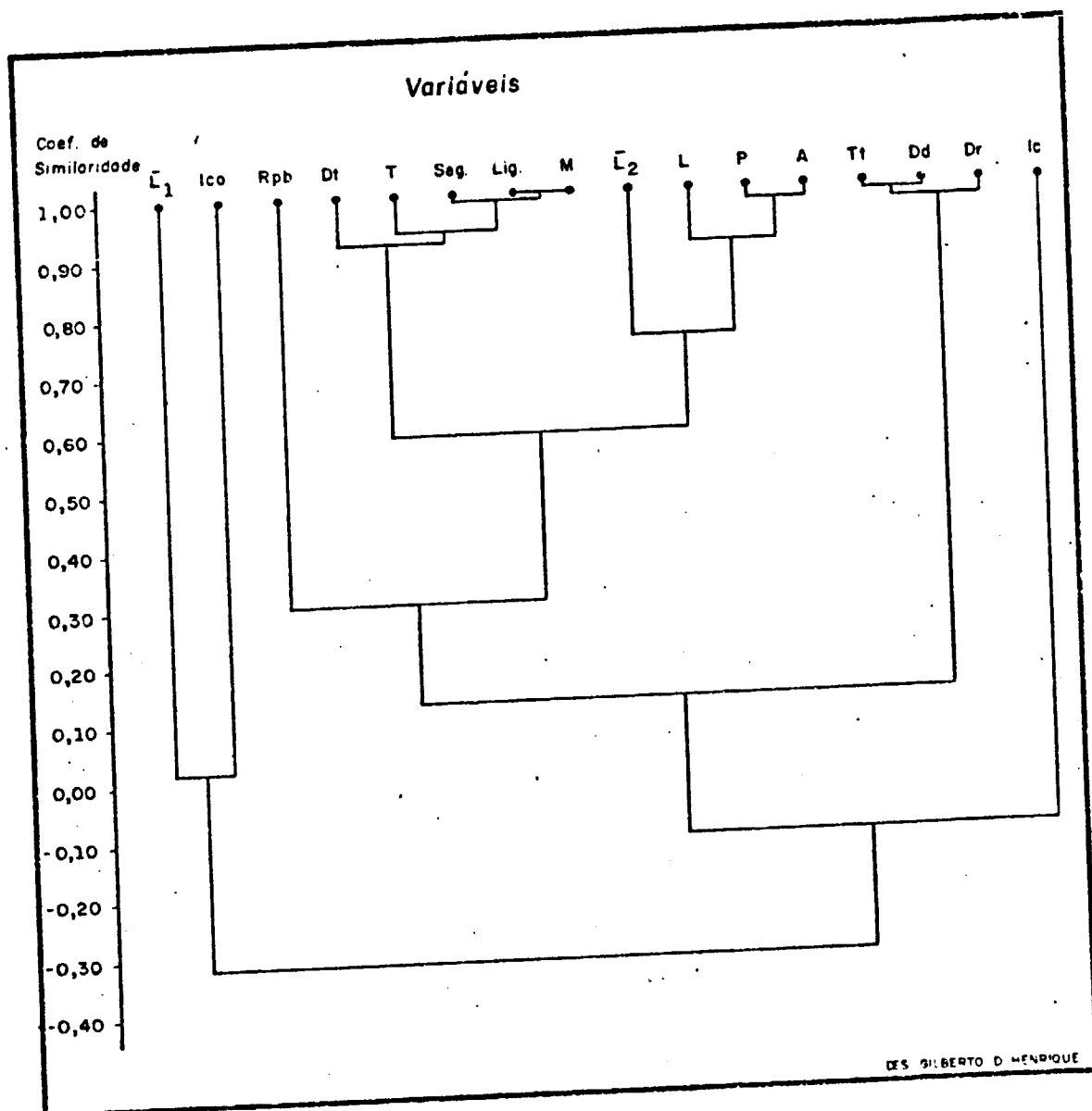


Fig. 4.54 - Dendrograma ilustrativo da inter-relação entre as variáveis levantadas a partir da carta topográfica (1:50.000) obtido por Weighted pair grouped method (W.P.G.M).

Com relação à formação de duplas de variáveis, observa-se que na imagem LANDSAT houve o aparecimento de cinco duplas, enquanto nos outros documentos apareceram apenas quatro duplas em cada um.

Observa-se que as três duplas (Lig-M, P-A, Tt-Dd) aparecem tanto na imagem LANDSAT com na carta topográfica na escala de 1:50.000, com coeficientes de similaridade bem elevados, apresentando valores acima do nível do 0,95. A única dupla que aparece em comum nos três documentos é a Tt-Dd que apresenta sempre valores altos, bem próximos da unidade, o que comprova que essas variáveis estão altamente relacionadas entre si.

Chama-se também a atenção para as variáveis T-Seg-L - M, que apresentam o mesmo coeficiente de similaridade na carta topográfica na escala de 1:250.000, que é igual a 0,99, o que indica alta correlação entre essas variáveis.

Num outro nível de agrupamento, as semelhanças entre imagem LANDSAT e carta topográfica na escala de 1:50.000 continuam mostrando os mesmos agrupamentos: Seg.-Lig-M, L-P-A, Dd-Tt-Dr, todos com coeficientes de similaridade acima de 0,85.

Na documentação cartográfica na escala de 1:250.000, o agrupamento Tt-Dd-Dr também se assemelha aos anteriores, mostrando que essas variáveis estão altamente correlacionadas quando medidas em qualquer um dos documentos utilizados.

No nível seguinte e nos demais, as semelhanças entre a imagem LANDSAT e a carta topográfica na escala de 1:50.000 continuam variando, mas a partir de nível de similaridade igual a 0,50 implica numa perda de detalhe muito grande, não havendo mais necessidade de considerar a relação entre as variáveis.

Resumindo-se as considerações, pode-se destacar um fato interessante, pois o agrupamento veio comprovar o que se vem discutindo e analisando durante o transcorrer do trabalho, em termos de diferença de documentação utilizada para esse tipo de estudo, pois os altos coeficientes de similaridade entre as variáveis aparecem tanto na imagem LANDSAT quanto na carta topográfica na escala de 1:50.000, o que mostra que esses dois documentos dão resultados praticamente semelhantes. Vê-se também que o agrupamento das variáveis foi coerente com o analisado durante a pesquisa, pois, como era de se esperar, uniu sempre as variáveis que eram bastante relacionadas entre si.

Finalmente, observa-se que os agrupamentos das variáveis na imagem LANDSAT e nas cartas topográficas nas escalas de 1:50.000 são muito semelhantes, tanto nos valores de similaridade obtidos quanto na formação dos grupos de variáveis, o que indica que a imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 é um documento que pode perfeitamente ser utilizada para o estudo de levantamento e análise quantitativas de bacias hidrográficas, pois dá os mesmos valores das cartas topográficas na escala de 1:50.000, que é considerada uma boa documentação para esse tipo de estudo.

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desta pesquisa foi comparar as informações levantadas na imagem orbital do satélite LANDSAT na escala de 1:250.000 com cartas topográficas da mesma área, na mesma escala e com cartas em escala maior, como é o caso das cartas topográficas na escala de 1:50.000 para o levantamento de dados relativos aos aspectos morfológicos e topológicos de bacias hidrográficas.

Com essa pesquisa examinou-se a potencialidade da imagem LANDSAT para possíveis aplicações em geociências principalmente no que diz respeito ao mapeamento de bacias hidrográficas e às medidas quantitativas feitas nessas bacias.

Após o levantamento e a análise dos dados, puderam-se constatar alguns fatos interessantes:

- a) A imagem orbital do satélite LANDSAT permite obter de uma maneira simples e imediata, e com boa precisão geodésica, a representação visual e planimétrica da rede hidrográfica de uma determinada área. Padrões diferentes de drenagem, em áreas adjacentes, podem ser analisados e individualizados, mostrando claramente a existência de variações geológicas regionais.
- b) A imagem LANDSAT na escala de 1:250.000 deu informações visuais (maior detalhe da rede hidrográfica) e quantitativas sobre as redes de drenagem com maior precisão e fidelidade do que as cartas topográficas na mesma escala. Verificou-se que a documentação cartográfica na escala de 1:250.00 é muito pobre em informações sobre redes hidrográficas, quando comparada com a imagem LANDSAT.



- c) A imagem LANDSAT, para o maior número de variáveis analisadas, deu informações equivalente e quase sempre superiores às das cartas topográficas na escala de 1:50.000 que são consideradas cartas de detalhe para estudos de morfometria de bacias hidrográficas. Isso é muito importante pois, como se sabe, na maior parte do território brasileiro não existe cartas topográficas nessa escala; assim, as imagens orbitais do satélites LANDSAT na escala de 1:250.000 vêm suprir favoravelmente essa lacuna, pois pode-se ter a cobertura total do país, em cada 18 dias e ainda fazer estudos comparativos para a mesma área<sup>(4)</sup>
- d) Importância da imagem LANDSAT para as áreas carentes em material cartográfico, para a análise e levantamento das bacias hidrográficas, bem como para o cálculo dos principais índices morfométricos, possibilitando um estudo a priori da região antes de fazer um estudo de detalhe.
- e) As variáveis morfométricas e topológicas obtidas através da imagem LANDSAT foram bastante semelhantes às medidas feitas nas cartas topográficas na escala de 1:50.000, que é considerada uma ótima escala para fazer estudos morfométricos.
- f) As variáveis morfométricas e topológicas analisadas podem ser medidas com suficiente precisão na imagem LANDSAT, possibilitando ao pesquisador grande economia de tempo e de custos.
- g) Apesar de a imagem LANDSAT ser um produto de um sensor altamente sofisticado a fazer parte de uma área de conhecimento ainda pouco divulgada entre os geógrafos, que é o Sensoriamento Remoto, as

---

<sup>(4)</sup> É importante ressaltar que o INPE já possui pelo menos cinco coberturas completas do país sem problemas com nuvens; em áreas favoráveis podem-se ter até 20 passagens com 0% de nuvens.

medidas quantitativas das bacias hidrográficas podem ser feitas através de métodos convencionais, isto é, com instrumentos simples de medição tais como régua, planímetro, curvímeter, etc.

- h) Cálculos de área e perímetro e medidas de comprimento são de modo geral, obtidas com rapidez e precisão, dando resultados semelhantes aos levantamentos nas cartas topográficas na escala de 1:50.000.
- i) A imagem LANDSAT também permitiu levantar o número de canais, o comprimento dos canais, a frequência dos rios etc., com maior detalhe do que as cartas topográficas na escala de 1:50.000.
- j) O levantamento da rede hidrográfica na imagem LANDSAT encerra um pouco de subjetividade mas o que vai influir muito é a capacidade e o conhecimento do pesquisador na hora de fazer a restituição, pois já existe uma metodologia de levantamento de redes hidrográficas a partir de imagens LANDSAT.
- k) As observações efetuadas durante o trabalho propiciam algumas considerações rápidas e sucintas sobre o relacionamento das bacias hidrográficas com a área em questão.

De modo geral, todas as bacias hidrográficas analisadas estão muito bem estruturadas e adaptadas às suas condições ambientais. Os gráficos representativos das Leis do Número dos Canais e do comprimento dos Canais, calculados através dos três tipos de documentação analisada, satisfizeram quase que perfeitamente as condições da progressão linear, preconizadas pela lei hortoniana, mostrando que as bacias hidrográficas se encontram estruturadas.

A geologia não exerce nenhum controle sobre a rede hidrográfica. Verifica-se apenas que o Litofácies São José do Rio Preto (B<sub>2</sub>), aliado à topografia (relevo mais movimentado), tem maior expressão geomorfológica local. Assim vê-se que as bacias que se localizam nessa área

apresentam maiores Índices de Dr, Dde Tte esses Índices também estão in  
timamente relacionados entre si.

Quanto à forma das bacias, predomina a alongada, com maior alargamento nas cabeceiras e estreitamento em direção ao baixo curso do rio principal. Como as bacias se desenvolvem numa área formada predomi  
nantemente pela Formação Bauru, com ausência de controle geológico, pre  
sume-se que a tendência é de atingirem um estado de equilíbrio, com dis  
tribuição igual de energia por toda a bacia, mantendo a sua organização estrutural.

Finalmente pode-se dizer que as restrições, as limitações e as fontes de erro que aparecem podem ser facilmente compensadas e cor  
rigidas, fazendo com que a imagem orbital do satélite LANDSAT, se tor  
ne um documento de grande utilidade para o estudo morfométrico e topolô  
gico de bacias hidrográficas, superando em muito as cartas topográficas na escala de 1:250.000 e dando informações equivalente, e muitas vezes superiores, às cartas topográficas na escala de 1:50.000, que têm sido o documento mais utilizado neste tipo de pesquisa.

Para complementar essas informações levantadas, sugere-se fazer essa mesma pesquisa em áreas com condições naturais completamente diferentes, tais como as áreas escarpadas do Planalto Cristalino, e ve  
rificar o desempenho relativo dos diferentes documentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.A. Quantificação e sensoriamento remoto na investigação geográfica. *Boletim Paulista de Geografia*, (51):89-93, 1976.
- ALMEIDA, F.F.M. Os fundamentos geológicos. In: AZEVEDO, A. *Brasil, a terra e o homem*. São Paulo, Nacional, 1964. v.1, p. 55-120.
- Planalto Ocidental. In: —— *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. São Paulo, IGEOG-USP, 1974. p. 87-91 (Série Teses e Monografias nº 14).
- AMARAL, G. Padrões fotogeológicos dos litofácies da formação Bauru no Estado de São Paulo, como observados em imagens LANDSAT. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1., São Paulo, 1977. *Atas*. São Paulo, SBG, 1977, p. 439-449.
- ARID, F.M. *A formação Bauru na região norte ocidental do Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado. São José do Rio Preto, F.F.C.L., 1967, p. 126.
- BOESCH, H. Ein Schema geographischer Arbeitsmethoden. *Geografie Helvetica*, 25(3):105-108, 1970.
- BOWDEN, K.L.; WALLIS, J.R. Effect of stream-ordering technique on drainage composition. *Geological Society America Bulletin*, 75(8): 767-774, 1964.
- CESAR, A.L. *Estudo de bacias hidrográficas através de parâmetros morfométricos de análise areal*. Tese de Mestrado. São Paulo, USP, 1977.
- CHORLEY, R.J. The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. In: CHORLEY, R.J., ed. *Water, Earth and Man*. London, Methuen, 1969, p. 77-99.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise hipsométrica de bacias de drenagens. *Notícia Geomorfológica*, 10(19):68-75, 1970a.
- A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. *Geografia*, 4(8):23-42, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. A análise morfométrica de bacias hidrográficas.

*Notícia Geomorfológica*, 9(18):35-64, 1969.

——— *Análise morfométrica de bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas*. Tese de Livre Docência. Rio Claro, F.F.C.L., 1970b.

——— Análise topológica de redes fluviais. *Boletim de Geografia Teorética*, 3(6):5-29, 1973a.

——— Densidade de rios e segmentos. *Notícia Geomorfológica*, 18(35):124-128, 1978.

——— A relação do equivalente vectorial aplicada no Planalto de Poços de Caldas (MG), Brasil. *Notícia Geomorfológica*, 11(22):9-19, 1971a.

——— As teorias geomorfológicas. *Notícia Geomorfológica*, 13(25):3-42, 1973b.

——— Estudo Comparativo entre a Documentação Cartográfica (1:50.000) e a Aerofotogramétrica (1:250.000) para a análise de redes de drenagem. *Notícia Geomorfológica*, 15(30):55-64, 1975b.

CHRISTOFOLETTI, A.; PEREZ FILHO, A. Estudo sobre a forma de bacias hidrográficas. *Boletim de Geografia Teorética*, 5(9,10):83-92, 1975a.

COMISSÃO DE SOLOS DO CONSELHO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. *Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas*, nº 12, 1960, p. 634.

FRANÇA, G.V. *Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba*. Tese de Doutorado. Piracicaba, ESALQ, 1968.

FREITAS, R.O. Sedimentação, estratigrafia e tectônica da Série Bauru. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 194, Geologia nº 14, 1955. p. 185.

GANDOLFI, N. *Bacia de Mogi-Guaçu: morfometria da drenagem, sedimentologia e investigações físico-químicas*. Tese de Doutorado. São Carlos. Escola de Engenharia de São Paulo, USP, 1968, 123 p.

- GARDINER, V. Drainage basin morphometry. *Technical Bulletins of the British Geomorphological Research Group*, nº 14, Published for the British Geomorphological Research Group by Geo abstracts Ltd., University of East Anglia, Norwich, NOR 88C, 1974, 48 p.
- GARDINER, V.; PARK, C.C. Drainage basin morphometry: review and assesment. *Progress in Physical Geography*, 2(1):1-35, 1978.
- HAGGETT, P.; CHORLEY, R.J. *Network analysis in Geography*. Londres, Edward Arnold, 1969, 348 p.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basis: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society America Bulletin*, 56(3):275-310, 1945.
- MACHADO, L.M.C. Ph. *A estruturação Hortoniana de bacias hidrográficas do Planalto Paulistano e das escarpas da Serra do Mar*. Tese de Mestrado, São Paulo, USP, 1979, 215 p.
- MCCOY, R.M. Automatic measurement of drainage networks. Institute of Eletrical and Eletronic Engineering. *Transactions in Geoscience Eletronics*. GE 8(3):178-183, July, 1970.
- Drainage networks with K-Band radar imagery. *Geographical Review*, 59(4):493-512, 1969.
- Rapid measurements of drainage density. *Bulletin of the Geological Society of America*, 82:757-762, 1971.
- MELTON, M.A. *An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology*. New York, Department of Geology, Columbia University, 1957, 102 p. (Technical Report nº 11).
- Geometric properties of mature drainage systems and their representation in a E-4 phase space. *Journal of Geology*, 66(1): 35-54, 1958.
- MILLER, V.C. *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee*. New York, Department of Geology, Columbia University, 1953. (Technical report nº 3).

- MONTEIRO, C.A.F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo; estudo sob a forma de Atlas*. São Paulo, IG-USP, 1975.
- MORAES, E.M.L. *Contribuição ao conhecimento geomorfológico da chapa da das Mangabeiras e região adjacente, através de imagens ERTS-1*. São José dos Campos, INPE, jan. 1975. (INPE-591-RI/280).
- MORISAWA, M.E. Accuracy of determination of stream lengths from topographic maps. *America Geophysical Union Transactions*, (38): 86-88, 1957.
- *Streams: their dynamics and morphology*. New York, McGraw Hill, 1968.
- PARRY, J.T.; TURNER, H. Infrared photos for drainage analysis. *Photogrammetric Engineering*, 37(10): 1031-1038, 1971.
- PEREZ FILHO, A. *Análise estrutural da bacia do São José dos Dourados (SP)*. Tese de Mestrado. São Paulo, USP, 1977.
- SANTOS, A.P.; MORAES NOVO, E.M.L. *Uso de dados LANDSAT-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no sudoeste da Amazônia Legal*. São José dos Campos, INPE, junho 1977. (INPE-1044-TPT/056).
- SCHEIDEGGER, A.E. *Theoretical Geomorphology*. Berlim, Springer Verlag, 1970. 435 p.
- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage system and slopes in bad lands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin Geological Society of America*, 67:597-656, 1956.
- SHREVE, R.L. Infinite topologically random channel networks. *Journal of Geology*, 75(2):178-186, 1967.
- SHREVE, R.L. Statistical law of stream numbers. *Journal of Geology*, 74(1):17-37, 1966.
- SMART, J.S. Topological properties of channel networks. *Geological Society of America Bulletin*, 80(9):1757-1774, 1969.

- SMITH, K.G. Standart for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, 248:655-668, 1950.
- SOKAL, R.; SNEAT, P.H. *Principles of numerical taxonomy*. San Francisco, Freeman, 1963. 359 p.
- STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin Geological Society of America*, 63(10):1117-1142, 1952.
- Quantitative analysis of watershed geomorphology. *America Geophysical Union Transaction*, 38:913-920, 1957.
- *Physical geography*. 2ª ed. New York, John Wiley, 1960, 534 p.
- Quantitative geomorphology of drainage basins and channel network. In: ——— *Handbook of applied hydrology*. New York, McGraw Hill, 1964, p. 4-39.
- SUGUIO, K. *Formação Bauru - calcários e sedimentos detríticos associados*. Tese de Livre Docência. São Paulo, USP, 1973, 236 p.
- SUGUIO, K.; FÜLFARO, U.J.; AMARAL, G.; GUIDORZI, L.A. Comportamentos estratigráficos e estrutural da Formação Bauru nas regiões Administrativas 7 (Bauru), 8 (São José dos Rio Preto) e 9 (Araçatuba), no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1., São Paulo, 1977. Atas. São Paulo, S.B.G., 1977, p. 231-248.
- TOLENTINO, M.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSO, A.B. Estudo morfométrico das bacias hidrográficas do Planalto de São Carlos. *Revista Brasileira de Geografia*, 4(30):42-50, 1968.
- VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. *Análise das imagens orbitais (LANDSAT 1), como base para levantamento de solos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-912-TPT/030).
- WARNER, C.; SMART, J.S. Some new methods of topologic classification of channel networks. *Geographical Analysis*, 5(4):271-295, 1973.



WERRITTY, A. Accuracy of a stream link lengths derived from maps.

*Water Resources Research*, 18:1255-1271, 1972a.

—— The topology of stream networks. In: CHORLEY, R.J. ed.

*Spatial analysis in geomorphology*. Londres, Methuen, 1972b, p.  
167-196.

## APENDICE A

### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- AB' SABER, A.N. A Geomorfologia do Estado de São Paulo. In: CONSELHO NACIONAL DE GEOGRAFIA. *Aspectos geográficos da Terra Brasileira*. Rio de Janeiro, 1964. p. 1-97.
- A Terra Paulista. *Boletim Paulista de Geografia*, (23):5-28, 1956.
- CHORLEY, R.J. Illustrating the laws of morphometry. *Geological Magazine*, 94:140-150, 1957.
- CHRISTOFOLETTI, A. Correlação de variáveis para o estudo comparativo de bacias hidrográficas. *Boletim Geográfico*, 30(224):101-106, 1971.
- O parâmetro K em bacias hidrográficas brasileiras. Rio Claro, UNESP, Inédito.
- CHRISTOFOLETTI, A.; ARANA, J. Estruturação de redes hidrográficas localizadas na região Norte Ocidental do Estado de São Paulo. *Boletim Paulista de Geografia*, (52):5-27, 1976.
- COATES, D.R. *Quantitative geomorphology of small drainage basins of Southern Indiana*. New York, Department of Geology, Columbia University, 1958, 67 p. (Technical Report nº 10).
- COLE, J.P. *Geografia Quantitativa*. Rio de Janeiro, IBGE, 1972.
- DOORNKAMP, J.C.; KING, C.A.M. *Numerical analysis in geomorphology: an introduction*. England, Edward Arnold, 1971, 372 p.
- GANDOLFI, N. Análise morfométrica de drenagem da bacia do rio Moji-Guaçu. *Notícia Geomorfológica*, 11(21):21-40, 1971.
- GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. *Drainage basin: form and process*. London, Edward Arnold, 1973.

- HOEL, P.G. *Estatística Elementar*. 4 ed. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, 1972.
- HOWARD, A.D. Equilíbrio e dinâmica dos sistemas geomorfológicos. *Notícia Geomorfológica*, (26):3-20, 1973.
- JARVIS, R.S. Drainage network analysis. *Progress in Physical Geography*, 1(2):271-295, 1977.
- KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotogramétricas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru*. Tese de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-898-TPT/029).
- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. *Fluvial process in Geomorphology*. San Francisco, W.H. Freeman, 1964.
- MORISAWA, M.E. Quantitative geomorphology of some watersheds in Appalachian Plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 72(9):1025-1046, 1962.
- PARKS, J.M. Cluster analysis applied to multivariate geologic problems. *Journal of Geology*, (5):703-715, 1966.
- SCHEIDEGGER, A.E. Horton's law of stream number. *Water Resources Research*, 4(3):655-658, 1968.
- Horton's law of stream lengths and drainage areas. *Water Resources Research*, 4(5):1015-1021, 1968.
- SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. Estudo de águas subterrâneas Região Administrativa 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Aracatuba). *Governo do Estado de São Paulo*, v.1, 1976, p. 82. (Resumo).
- SMART, J.S. The analysis of drainage network composition. *Earth Surface Processes*, 3(2):129-170, 1978.
- The relation between mainstream length and area in drainage basins. *Water Resources Research*, 3(4):963-974, 1967.